

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS HUMANAS  
LINHA DE PESQUISA EM SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE

JULIO CESAR REFOSCO

Mudanças no uso da terra:  
o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico

Florianópolis

2004

JULIO CESAR REFOSCO

Mudanças no uso da terra:  
o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico

Tese apresentada para obtenção do grau de doutor junto ao  
Programa de Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas da Universidade Federal  
de Santa Catarina, na Área de Concentração: Sociedade e Meio Ambiente

ORIENTADOR: Professor Dr. Luiz Fernando Scheibe – UFSC

CO-ORIENTADOR: Professor Dr. Ivo Marcos Theis – FURB

Florianópolis

2004

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca Central da FURB

---

Refosco, Julio Cesar

R332m Mudanças no uso da terra : o caso da Bacia do Itajaí/SC a partir  
de um modelo dinâmico / Julio Cesar Refosco. – 2004.

216 p. : il.

Orientador: Luiz Fernando Scheibe.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Bibliografia: p. 178-185.

1. Solo – Uso – Itajaí-Açú, Rio, Vale (SC). 2. Solo – Uso –  
Modelos matemáticos. 3. Sistemas de informação geográfica. I.  
Scheibe, Luiz Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
III. Título.

CDD 631.4

---



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Filosofia e Ciências Humanas  
Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas/Doutorado

## **“Mudanças no Uso da Terra: o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico”**

Por  
**Julio Cesar Refosco**

Orientador Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe  
Co-orientador Prof. Dr. Ivo Marcos Theis

Esta tese foi submetida ao processo de avaliação pela Banca Examinadora para obtenção do título de *Doutor em Ciências Humanas* e aprovada em sua forma final no dia 17 de dezembro de 2004, atendendo as normas da legislação vigente do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas/Doutorado.

Prof. Dr. Héctor Ricardo Leis – Coordenador do Programa

### **Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe (orientador e presidente)

Profa. Dra. Cláudia Maria de Almeida

Prof. Dr. Adilson Pinheiro

Prof. Dr. Joel Pellerin

Profa. Dra. Júlia Silvia Guivant

Prof. Dr. Ivo Marcos Theis (co-orientador)

Florianópolis, 17 de dezembro de 2004.

## Agradecimentos

Muitas pessoas merecem meu agradecimento, não somente em função deste trabalho especificamente, mas também pela convivência durante todo o período do curso de doutorado. Assim, quero agradecer:

Ao Dr. Luiz Fernando Scheibe pela orientação, pelas conversas dedicadas tanto ao tema específico do trabalho quanto a temas diversos, pelas correções de percurso e pelo esmero na correção da proposta final de tese para defesa pública.

Ao Dr. Ivo Marcos Theis pela orientação, pelas indicações de bibliografia, pelas conversas sobre desenvolvimento sustentável e pelo esmero na correção da proposta final para a defesa pública.

À Claudia Maria de Almeida do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio incondicional na etapa de experimento com o modelo dinâmico, pelos esclarecimentos e pelo fornecimento das planilhas de cálculo para as etapas de modelagem.

Ao Dr. Adilson Pinheiro pelas conversas sobre o tema deste trabalho, bem como na cessão da estrutura do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) da FURB para sua realização.

À Dra. Beate Frank pela leitura da proposta final e pelas sugestões de direcionamento.

Ao Alexandre Vibrans, parceiro neste período de doutorado, pelos diálogos sobre os assuntos da tese (ou mesmo pelos outros assuntos), pelo apoio nos trabalhos práticos e na cessão dos dados sobre uso da terra em 2000.

À MSc. Marcia Maristela Scalco pelas conversas sobre ensinar e aprender e sobre os teóricos da pedagogia.

À Dra. Ivani Cristina Butzke (*in memoriam*) pela amizade e pelas longas conversas sobre as questões sócio-ambientais.

Ao Dr. Adilson Pinheiro, novamente, pela leitura do projeto e auxílio na definição da metodologia, além das outras sugestões.

Ao Dr. Joel Pelerin pela leitura do projeto de tese e pelas sugestões.

Ao Professor Dr. Hector Ricardo Leis e à Liana Bergmann do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas da UFSC, pelo apoio administrativo.

À Associação Catarinense de Fundações Educacionais – ACAFE, pelo auxílio da bolsa parcial pelo Programa PIQDT.

Ao Márcio Nunes da Divisão de Apoio à Pesquisa – DADP da FURB pelos serviços administrativos.

Ao José Marcos Moser da Agência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Agência de Florianópolis pela auxílio com a vetorização das folhas da cartografia do IBGE.

Aos pesquisadores do Projeto Dinâmica da Universidade Federal de Minas Gerais, pela licença para utilizar o DINÂMICA.

À Dra. Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo, minha orientadora do Mestrado, de quem muito lembro, ainda agora no Doutorado e a quem nunca é demais agradecer as portas abertas no Mestrado.

Aos meus pais Livino Julio Refosco e Nelci Chitó, a meus irmãos Mauro e Celaine e a meus sobrinhos Flora e Francisco pela grata convivência nestes tempos todos. Todos são uma referência constante. Mais uma vez à minha mãe que nos deixou alguns dias depois da apresentação pública deste trabalho, de forma totalmente inesperada, e que agora, enquanto realizo as correções para a versão final da tese, me acompanha e, tenho certeza, também acompanha muitas pessoas, na memória dos momentos que vivemos juntos, alguns doces outros nem tanto, mas todos contribuindo para moldar o que somos.

Aos amigos do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) da FURB pelas parcerias realizadas: Beate, Noêmia, Carlos, Graciane, Hélio, Tachini, Mario, Rose, Geovani, Marilene, Ana, Rafaela, Dirceu, Odirlei, Jorgeane, Daniele, Juliana e Ruy.

Ao Ruy Lucas pelo auxílio com os mapas e ao Charles Bambinetti pelo auxílio com a informática.

À Luciana Budag, Cristiane Mansur e Alexandre Vibrans, pela parceria na estrada.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Florestal da FURB.

Aos colegas da Fundação do Meio Ambiente de Blumenau (FAEMA), especialmente ao José Constantino Sommer.

Aos bolsistas de Iniciação Científica e Mestrado que auxiliaram em várias etapas deste trabalho: MSc. Odirlei Fistarol, Giovanni Santângelo Stringari (aluno de Eng. Florestal), Letícia de Freitas Souza (aluno de Arquitetura e Urbanismo), Alexandre Formigari (aluno de Eng. Florestal), Arlan Duwe (aluno de Eng. Telecomunicações), Veraldo Liesenberg (Mestrando no INPE).

## Dedicatória

Para

Marcia,

por tantas coisas aprendidas juntos,

umas do corpo,

tantas da mente,

muitas do coração.



...

Eu guiava o senhor até tudo.

Lhe mostrar os altos claros das Almas: rio despenha de lá, num afã, de espuma próspero, gruge; cada cachoeira só tombos. O cio da tigre preta na Serra do Tatu – já ouviu senhor gargaragem de onça? A garôa rebrilhante da dos-Confins, madrugada quando o céu embranquece – neblim que se chama de xererém. Quem me ensinou a apreciar essas as belezas sem dono foi Diadorim... A da-Raizama, onde até os pássaros calculam o giro da lua – se diz – e cangussú mostra pisa em volta. Lua de com ela se cunhar dinheiro. Quando o senhor sonhar, sonhe com aquilo. Cheiro de campos com flores, forte, em abril: a ciganinha, roxa, e a nhíica e a escova, amarelinhas... Isto – no Saririnhém. Cigaras dão bando. Debaixo de um tamarindo sombroso. Eh, frio! La gêia até em costas de boi, até nos telhados das casas. Ou no Meãoemeão – depois dali tem uma terra quase azul. Que não que o céu: esse é o céu-azul vivo igual um ovo de macuco. Ventos de não deixar se formar orvalho... Um punhado de palmeira... Lembro deslembro. Ou – o senhor vai – no sopo: de chuva-chuva. Vê um córrego com má passagem ou um rio em turvação. No Buriti-Mirim, Angical, Extrema-de-Santa-Maria... Senhor caça? Tem lá mais perdiz do que no Chapadão das Vertentes... Caçar anta no Cabeça-de-Negro ou no Buriti-Comprido – aquelas que comem um capim diferente e roem cascas de muitas outras árvores: a carne, de gostosa, diversêia. Por esses longes todos eu passei com pessoa minha ao meu lado, a gente se querendo bem. O senhor sabe? Já tenteou sofrido o ar que é a saudade? Diz-se que tem saudade de idéia e saudade do coração... Ah. Diz-se que o governo está abrindo boa estrada rodageira, de Pirapora a Paractatú, por aí...

*(João Guimarães Rosa – “Grande Sertão: Veredas”)*

Wow!!

After I jumped it occurred to me

Life is perfect,

Life is the best

Full of magic, beauty, opportunity... and television.

And surprises. Lot of surprises, yeah.

And then there's the best stuff of course,

Better than anything anyone ever made up,

cause it's real

*(Wim Wenders. Fala do personagem Tom Tom, do filme “A million dollar hotel”)*

## *Lista de Abreviaturas*

A – Classe “Águas” de uso da terra

AG – Classe “Agropecuária” de uso da terra

AR – Classe “Arrozeiras” de uso da terra

ARCGIS – Programa para Geoprocessamento desenvolvido pela empresa norte americana ESRI

CAD – Desenho auxiliado pelo computador (Computer Aided Draft and Design)

DAGUA – Variável “Distância de cursos d’água” considerada no experimento de modelagem

DCURB – Variável “Distância de centros urbanos” considerada no experimento de modelagem

DECLI – Variável “Declividade do solo” considerada no experimento de modelagem

DEF – Departamento de Engenharia Florestal – FURB

DINÂMICA – Programa desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG ([www.csr.ufmg.br](http://www.csr.ufmg.br))

DRODO1 – Variável “Distância de Rodovias Primárias” considerada no experimento de modelagem

DRODO2 – Variável “Distância de Rodovias Secundárias” considerada no experimento de modelagem

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro

ENVI – Environment for Visualizing Images. Programa de tratamento de imagens digitais

ETM – Sensor “Enhanced Thematic Mapper” a bordo do satélite Landsat 7

FP – Classe “Floresta plantadas e culturas de ciclo longo” de uso da terra

FURB – Universidade Regional de Blumenau

GEOVALE – Projeto “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para o Vale do Itajaí” da FURB ([www.ipa.furb.br/geovale](http://www.ipa.furb.br/geovale))

GIS – Geographic Information System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS – Imposto sobre circulação de mercadorias

IDM – Índice de Desenvolvimento Municipal.

IDRISI – Programa de tratamento de dados “raster” e Geoprocessamento.

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

IPA – Instituto de Pesquisas Ambientais

IPS – Instituto de Pesquisas Sociais

NC – Variável “Número de estabelecimentos comerciais em 1986” considerada no experimento de modelagem

NI – Variável “Número de estabelecimentos industriais em 1986” considerada no experimento de modelagem

PR – Variável “População rural em 1986” considerada no experimento de modelagem

PU – Variável “População urbana em 1986” considerada no experimento de modelagem

Q710 – Variável “Vazão mínima específica” considerada no experimento de modelagem

SAD69 – Datum de referência geográfica utilizado na América do Sul – “South American Datum 1969”

SDM-SC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico de Santa Catarina

SF-SC – Secretaria da Fazenda do Estado de Santa Catarina

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SOLOS – Variável “Solos” considerada no experimento de modelagem

TBCD – Tabela da base cartográfica digital

TM – Sensor “Thematic Mapper” a bordo do satélite Landsat 5

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos. United States Geological Survey

UTM – Projeção cartográfica utilizada na cartografia oficial brasileira. Universal Transversa de Mercator

VN – Classe “Vegetação Natural” de uso da terra

W+ – Peso de evidência positivo.

## *Lista de Figuras*

Figura 1 – Exemplo de um modelo dinâmico – Jogo da Vida .....	76
Figura 2 – Exemplos de resultados de um modelo dinâmico. No mesmo modelo as regras diferentes produzem resultados diferentes em (a) e (b) .....	77
Figura 3 – Localização da área de estudos – bacia hidrográfica do rio Itajaí.....	84
Figura 4 – Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas.....	91
Figura 5 – Exemplo de arquivo de regras para a transição no IDRISI. ....	114
Figura 6 – Exemplo de mapa de reclassificação gerado pelo arquivo de regras da Figura 6.....	114
Figura 7 – Exemplo da matriz de análise de mudanças do IDRISI. ....	115
Figura 8 – Exemplo de planilha de cálculo para cálculo de pesos de evidência (W+) e avaliação de correlações (gráficos) entre transições e fatores de mudança.....	116
Figura 9 - Fluxograma de desenvolvimento e aplicação de um modelo de simulação .....	122
Figura 10 – Classes de uso da terra em 1986 e 2000 em Km <sup>2</sup> .....	131
Figura 11 – Classes de uso da terra – diferenças entre 2000 e 1986 em pontos percentuais.....	131
Figura 12 – Classes de uso da terra – diferenças absolutas de 2000 em relação a 1986 em Km <sup>2</sup> .....	132
Figura 13 – Gráfico das transições de uso da terra no nível municipal (Tabela completa em Anexo).....	135
Figura 14 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-VN.....	151
Figura 15 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-AR.....	151

Figura 16 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-C .....	152
Figura 17 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-AG.....	153
Figura 18 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-FP .....	154
Figura 19 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-FP .....	155
Figura 20 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-VN .....	156
Figura 21 – Gráficos de espalhamento para a transição AR-C.....	157
Figura 22 – Gráficos de espalhamento para a transição C-AG .....	158
Figura 23– Gráficos de espalhamento para a transição AR-AG.....	158
Figura 24 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-AG .....	159
Figura 25 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-C.....	160
Figura 26 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-C .....	160
Figura 27 – Gráficos de espalhamento para a transição C-AR.....	161
Figura 28 – Gráficos de espalhamento para a transição C-VN.....	162

## *Lista de Mapas*

Folha 1 – Mapa da área de trabalho .....	188
Folha 2 – Mapa de uso da terra em 1986 e 2000 .....	189
Folha 3 – Mapa de distâncias dos centros urbanos.....	190
Folha 4 – Mapa de distâncias das rodovias primárias.....	191
Folha 5 – Mapa de distância das rodovias secundárias. ....	192
Folha 6 – Mapa de número de estabelecimentos comerciais em 1986. ....	193
Folha 7 – Mapa de número de estabelecimentos industriais em 1986.....	194
Folha 8 – Mapa de população urbana em 1986. ....	195
Folha 9 – Mapa de população rural em 1986.....	196
Folha 10 – Mapa de regionalização de vazões. ....	197
Folha 11 – Mapa de distâncias dos rios principais.....	198
Folha 12 – Mapa de solos. ....	199
Folha 13 – Mapa de declividade do solo.....	200

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1 – Classificação dos modelos de uso da terra .....	71
Tabela 2 – Exemplos de modelos do tipo Integrado .....	73
Tabela 3 – Lista de municípios total ou parcialmente dentro da bacia do rio Itajaí... 85	
Tabela 4 – Lista de Folhas da Carta do Brasil utilizadas na base cartográfica .....	95
Tabela 5 – Relação final dos mapas constantes no SIG .....	98
Tabela 6 – Relação das variáveis consideradas para o modelo dinâmico .....	101
Tabela 7 – Imagens de satélite utilizadas e respectivas características técnicas ...	103
Tabela 8 – Classes de uso da terra utilizadas na interpretação e respectivas siglas .....	105
Tabela 9 – Limiares de Probabilidade utilizados na interpretação automática da imagem de 1986.....	106
Tabela 10 – Relação das variáveis utilizadas no experimento e respectivos Índices V de Cramer .....	110
Tabela 10 – Relação de mapas produzidos .....	124
Tabela 11 – Resultados do mapeamento do uso da terra em 1986 em dados absolutos (km <sup>2</sup> ) e relativos (%). .....	126
Tabela 12 – Comparação entre os resultados deste estudo e de Vibrans (2003) para o mapeamento de uso da terra em 1986.....	127
Tabela 13 – Quantificação de mudanças gerais de uso da terra na área de estudo. .....	128
Tabela 14 – Classes de uso da terra e respectivas superfícies relativas e absolutas. .....	129



Tabela 15 – Transições de uso da terra na área de estudo entre 1986 e 2000 e respectivos valores anuais (médios estimados) de transição. ....	133
Tabela 16 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). ....	139
Tabela 17 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). ....	140
Tabela 18 - Matriz anual de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). ....	142
Tabela 19 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). ....	143
Tabela 20 – Transições de uso da terra e variáveis mais associadas e respectivos pesos de evidência .....	146
Tabela 21 – População do Estado de Santa Catarina .....	168
Tabela 22 – Tabela de transições de uso da terra nos municípios. ....	204
Tabela 23 – Separabilidade “Divergência Transformada” das classes de uso da terra para imagem Landsat de 1986. ....	213
Tabela 24 – Matrizes de confusão entre classes de interpretação. ....	215

## Sumário

LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE MAPAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	16
SUMÁRIO.....	18
RESUMO .....	20
ABSTRACT .....	22
1 INTRODUÇÃO .....	24
1.1 <i>Uso da terra e a questão ambiental</i> .....	24
1.2 <i>A bacia do Itajaí como área de estudo</i> .....	29
1.3 <i>Abordagem Científica para o estudo</i> .....	34
1.3.1 <i>Perguntas de Pesquisa</i> .....	34
1.4 <i>Proposição de uma hipótese para o estudo</i> .....	35
1.5 <i>Objetivo do estudo</i> .....	36
1.6 <i>A estrutura deste documento</i> .....	37
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	39
2.1 <i>Uso da Terra, Desenvolvimento e Meio Ambiente</i> .....	39
2.2 <i>Sobre espaço, tempo, técnica e desenvolvimento</i> .....	50
2.3 <i>Mudança de Uso da Terra, Interdisciplinaridade e Complexidade</i> .....	55
2.4 <i>Modelos dinâmicos como ferramenta de análise de mudanças no uso da terra, simulação e predição</i> .....	61
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	82
3.1 <i>Caracterização da Área de Estudos</i> .....	83
3.2 <i>Procedimentos Metodológicos</i> .....	89
3.2.1 <i>Sistema de Informações Geográficas e Cartografia</i> .....	89
3.2.2 <i>Mapeamento de Uso da Terra</i> .....	102
3.2.3 <i>Análises de Dados no SIG e Métodos Estatísticos</i> .....	107
3.2.4 <i>Modelo Matemático Computacional</i> .....	117
4 RESULTADOS E PRODUTOS.....	123
4.1 <i>Resultados do Sistema de Informações Geográficas, Cartografia e Mapeamento de uso da terra</i> .....	123

4.2	<i>Resultados das mudanças no uso da terra .....</i>	127
4.3	<i>Resultados de análise de dados no SIG, métodos estatísticos e modelo dinâmico .....</i>	137
4.3.1	Matrizes de transição .....	137
4.3.2	Transições de uso da terra.....	145
4.3.3	Associação espacial entre transições de uso da terra e fatores de mudança e análise das mudanças no uso da terra.....	150
4.3.4	Simulação de mudanças no uso da terra.....	163
4.4	<i>Análise das mudanças de uso da terra no Vale do Itajaí.....</i>	165
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	173
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	178
	ANEXOS.....	186
	<i>Cartografia.....</i>	187
	<i>Lista de referências bibliográficas da Tabela 2.....</i>	201
	<i>Tabela de transições de uso da terra nos municípios da área de estudo.....</i>	204
	<i>Informações sobre a qualidade da interpretação automática das imagens de satélite .....</i>	213

## *Resumo*

Esta pesquisa buscou avaliar como o uso da terra modificou-se no decorrer dos últimos anos, na Bacia do Itajaí e foi realizada através do emprego de um modelo dinâmico simplificado da realidade. O uso da terra pode ser visto como a concretização da relação ser humano – natureza, sendo a intersecção entre ecologia e sócio-economia. A área de estudos definida foi a bacia do rio Itajaí, em Santa Catarina. Problemas de ordem social e econômica têm sido observados e também podem ser correlacionados à forma de ocupação do espaço, dentre outros fatores que interagem no sistema ambiental, o que remete para a questão científica central do estudo, visando a estudar os fatores econômicos, sociais e físico-bióticos, bem como suas interações, que determinam o uso e a cobertura da terra na área de estudos, no período compreendido entre 1986 e 2000. O estudo considera, inicialmente que, até a década de 1980, o uso da terra, da forma como se estabelecia, promovia um tipo de desenvolvimento pouco sustentável. Esta condição vem se alterando para um uso mais sustentável. O objetivo geral deste estudo é analisar a relação entre o ser humano e a natureza, materializada pelo uso da terra, determinado por múltiplos fatores e suas interações, tendo como foco o caso do Vale do Itajaí. Para conduzir o experimento foram utilizados diversos procedimentos metodológicos, dentre eles, foi desenvolvido um sistema de informações geográficas (SIG) para receber, organizar e permitir algumas análises automáticas das informações da área de estudos. Posteriormente, foi efetuado um estudo do uso da terra, em duas datas, através de técnicas de sensoriamento remoto. Por fim, foi realizado o desenvolvimento de um modelo matemático computacional. Foram obtidos resultados relacionados do Sistema de Informações Geográficas e toda a cartografia utilizada no SIG, ao mapeamento de uso da terra realizado e uma análise destes usos e suas mudanças ao longo do período de tempo considerados, às análises realizadas no ambiente do SIG e na aplicação de métodos estatísticos para a avaliação de mudanças no uso da terra e para o estudo das correlações destas mudanças com as diversas variáveis físico-naturais, sociais e econômicas, e, por fim, em relação ao modelo matemático computacional para a mudança no uso da terra. A pesquisa mostra que em relação à dinâmica do uso do solo na área de estudos, as transições mais importantes identificadas pelo estudo foram o abandono da agropecuária, na mesma medida que, nas terras abandonadas, regenera-se a vegetação natural. Ocorre,

por outro lado, a mudança de vegetação natural para agropecuária e de agropecuária de uma forma geral para a agricultura especializada do arroz. Outra transição de grande importância é a mudança de agropecuária para cidades, mostrando que em diversos locais a urbanização é um processo ativo. O estudo identificou uma tendência de não utilizar terras com baixo potencial para culturas especializadas. Assim, as terras com maior declividade e que, em função de uma série de fatores, apresentam baixa produtividade, tendem a ser abandonadas para que a regeneração natural permita à vegetação original se restabelecer. Por outro lado, tende a haver um menor interesse em cultivar terras que fiquem distantes dos mercados e da infraestrutura de transporte. As terras com maior potencial tendem a ser utilizadas para culturas adequadas a este potencial, como é o caso das arrozeiras e bananais. Avaliando a espacialidade dos fenômenos de mudança do uso da terra na área de estudos há uma tendência geral de áreas de maior declividade regenerar-se a floresta e nas áreas de menor declividade permanecer a agropecuária ou ainda, ocorrer uma especialização da agricultura em culturas mais rentáveis. Observa-se, porém uma grande diferença entre municípios maiores e com centro urbano mais expressivo e aqueles com características totalmente rurais. O modelo dinâmico estruturado, utilizando o sistema DINÂMICA desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais, permitiu a compreensão dos fenômenos envolvidos na mudança de uso da terra, através do método estatístico utilizado no cálculo das associações entre variáveis e mudanças, e nos resultados gerados pelo modelo.

## *Abstract*

This research aimed at evaluating how the land use has changed over the last years in the Itajaí basin and how it was carried out by means of a simplified dynamic model of the reality. The chosen study area was the Itajaí Açu river basin, in Santa Catarina state. Social and economic problems have been observed and may also be related to the form of space occupation, among other factors that interact in the environmental system, which sends us to the main scientific question – to study the economic, social and physic-biotic factors, as well as their interactions, which determine the use and covering of the land in the area studied in the period between 1986 and 2000. Initially, the study considers that up to the 1980 decade, the use of land, as it was established, promoted a type of little sustainable development. This condition has been altered to a more sustainable use. The general objective of this study is to analyze the relation between human being and nature, materialized in the land use, determined by multiple factors and their interactions, focused on the case of the Itajaí Valley. In order to conduct the experiment several methodological procedures were used. First, a geographical information system (GIS) was developed, to receive, organize and to allow some automatic analyses of the information on the study area. Subsequently a study of the land use was done, in two periods, through remote sensing techniques. Finally, the development of a computational mathematical model was done. The results obtained were related to the geographical information system and to the cartography used in GIS, to the mapping of the land use and to the analysis of these uses and changes during the period of time considered, to the analyses carried out in the GIS environment and the application of statistical methods for the evaluation of changes in the land use and for the study of the correlations of these changes with many natural, social and economic variables and finally, in relation to the computational mathematical model for the changes in land use. The research shows that in relation to the dynamic land use in the area studied the most important transitions identified by the study were the abandon of farming in the same measure that, in the abandoned lands the natural vegetation regenerates. On the other hand, there is a change from natural vegetation into farming and from farming in general into rice agriculture. Another transition of great importance is the change from farming into cities, showing that in many places housing development is an active process. The study has identified a

tendency of not using lands of low potential for specialized agriculture. Thus, the lands with higher slopes and that, due to a series of factors, has low productivity tended to be abandoned so that natural regeneration allowed the original vegetation to grow again. On the other hand, there is a tendency of lesser interest in cultivating lands that are far from markets and from the infrastructure of transport. The lands with greater potential tend to be used for cultures adequate to this potential, such as the case of rice and banana plantation. Evaluating the spatial relationship of the phenomena of change in the use of land in the studied area there is a general tendency of higher declivity areas regenerating into forests and lower declivity areas continue as farming or even for a specialized kind of farming to take place in more profitable cultures. It is possible to notice a big difference between larger towns, with more expressive urban centers, and those with total countryside characteristics. The structured dynamic model, using the “DINAMICA” system, developed by the Federal University of Minas Gerais, allowed the understanding of the phenomena involved in the land use change, through the statistic method used in the calculation of associations between variables and changes, and in the results generated by the model.

## 1 Introdução

O cerne desta pesquisa está em avaliar como os usos dados à terra substituíram-se, no decorrer dos últimos anos, no lugar chamado Bacia do Itajaí. Foi realizado através do emprego de um modelo simplificado da realidade, que pretende ser dinâmico, acompanhando estas mudanças ao longo do tempo e do espaço.

Trata-se de um problema bastante atual, de avaliar como a humanidade tem ocupado os espaços disponíveis no ambiente para se instalar, criando e recriando o próprio ambiente e, por outro lado, modificando-se ela própria a partir do ambiente inicial modificado.

A ocupação das terras que, no princípio da civilização humana, era de baixa intensidade, se apresenta hoje bem mais intensa, sendo uma das grandes questões no relacionamento ser humano-natureza, dadas as consequências sociais e ambientais dela decorrentes.

Dentre tantas formas de abordar a questão do uso da terra, a conotação que este trabalho pretende vai no sentido das atuais abordagens da questão ambiental, ou seja, o uso da terra e suas mudanças ao longo do tempo podem ser estudados sob a ótica das consequências ambientais e sociais que origina.

### 1.1 Uso da terra e a questão ambiental

A história é a história da ocupação da terra pelo ser humano, da modificação que promove nas características de seu ambiente. É a história da colonização, da navegação pelo rio, da abertura de picadas e caminhos, do uso da floresta, da queimada, do plantio das culturas agrícolas e do estabelecimento de áreas de habitação.

O ser humano, desta forma, exerce grande influência sobre o ambiente. Mas, parece óbvio que as características naturais deste também exercem sua influência sobre o ser humano que tem, portanto, laços que o ligam com o local onde habita, assim como todo outro ser vivo está intimamente ligado ao seu *habitat*.

As atividades humanas promovem a ocupação do espaço, seja para agricultura, para exploração de matérias-primas e outros recursos, para modificações de uso ou construção



de estruturas para a vida em sociedade. É importante dizer que a preocupação com a conservação ambiental é um componente novo neste processo de ocupação do ambiente pelo ser humano. Por outro lado, as diversas formas de degradação ambiental e redução na qualidade da vida resultam da relação ser humano-natureza ou de suas conseqüências.

Também a conservação ambiental pode ser considerada um aspecto da ocupação do espaço e do desenvolvimento. É possível, então, afirmar que a ocupação do espaço, o desenvolvimento e a conservação ambiental são todas facetas da complexidade das relações existentes entre o ser humano e a natureza.

De certa forma, o uso da terra pode ser visto como a concretização da relação ser humano – natureza, sendo a intersecção entre ecologia e sócio-economia. O modelo de compreensão do sistema ambiental proposto por Heilig faz a ligação entre os subsistemas natural e sócio-econômico através do tipo e da intensidade do uso da terra, como se o ser humano atuasse sobre a natureza modificando o uso da terra e, da mesma forma, a natureza atuasse sobre o ser humano causando mudanças no uso da terra (HEILIG, 1995).

O tempo é um fator de definição do ambiente e, por conseguinte, do espaço. Assim, o espaço que se tem hoje foi moldado ao longo do tempo por diferentes usos e pelo entendimento deste espaço através da singularidade presente em cada cultura que o ocupou. Existe, desta forma, conexão temporal entre os espaços de hoje e os de ontem.

Problemas ambientais e a preocupação com sua solução não são um fenômeno recente. Profundas transformações, porém, têm sido observadas desde que as primeiras discussões sobre meio ambiente foram colocadas na agenda. Transformações tanto no pensar do indivíduo quanto do coletivo, na esfera pública e privada, em cada setor da economia, em cada ator da sociedade.

Em meados do século XIX, registrava-se a preocupação com o desflorestamento na América do Norte e, no final do mesmo século, com a proteção de áreas rurais no Reino Unido. Seguiu-se a preocupação com a perda de solos por erosão e com a poluição do ar no final da primeira metade do século XX. Na década de 1960, o foco foi o uso dos pesticidas; na de 1970, a exploração e escassez dos recursos naturais e a energia nuclear;

em 1980, a chuva ácida mobilizou as opiniões (MATTEI, 2000). Nos dias de hoje, as relações entre mudanças locais e globais são temas básicos nas discussões sobre ambiente.

A partir da década de 70, quando ocorreu a Primeira Conferência Mundial sobre Meio Ambiente (Estocolmo em 1972), a questão ambiental ganhou maior visibilidade e passou a ocupar espaço específico na agenda da sociedade, primeiramente em um nível global e, em seguida, no nível local. A partir deste momento, um dos temas que surgiu e ganhou importância foi o do “desenvolvimento sustentável”, termo que foi cunhado a partir dos outros tipos de desenvolvimento anteriores: desenvolvimento, simplesmente; desenvolvimento econômico e social; desenvolvimento humano (SACHS, 2000). O desenvolvimento sustentável tem sido discutido como conceito a partir do Relatório Brundtland (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988) o qual estipulou que “desenvolvimento sustentável seria um padrão de desenvolvimento que permitisse saciar as demandas das gerações atuais sem colocar em risco as necessidades das gerações futuras”. Este conceito estabeleceu dois marcos de importância fundamental – as necessidades do ser humano e os limites sinalizados pela natureza.

Como generalização, muitas vezes, emprega-se o termo “questão ambiental”, que se refere a um conjunto de questões e problemas que têm como eixo central o questionamento das formas de ação do ser humano sobre o sistema natural do qual faz parte, causando modificações tais que colocam em risco todo o sistema, inclusive a própria existência humana (JOLLIVET e PAVÉ, 2000).

Paralelamente à questão ambiental, ocorreram consideráveis mudanças em nível do conhecimento humano, o qual, nas suas bases, trouxe novos paradigmas e forçou o abandono de antigos. O mundo, hoje, é entendido como complexo; as discussões atuais são multidisciplinares, interdisciplinares e transdisciplinares; vêm-se as partes, mas, também, o todo. O paradigma mecanicista dá lugar ao sistêmico. Neste novo paradigma de conhecimento, a integração é a tônica, as visões setoriais são integradas em uma visão holística. O social, o econômico, o físico-natural, o político e o cultural formam um emaranhado de relações que deve ser assim compreendido – integrado. O uso da terra é apontado como um indicador das modificações ambientais provocadas pelo ser humano

(BRIASSOULIS, 2000; FRANK, 1999; GODARD e LEGAY, 2000; HEILIG, 1995) e recebe influência de dois conjuntos de forças – as necessidades humanas e os processos e feições ambientais. Assim, o estudo do uso da terra e das mudanças nele observadas permite estabelecer bases mais apropriadas de desenvolvimento, segundo certos critérios.

O estudo de determinados fenômenos envolve a descrição de muitas variáveis, o que contraria a facilidade relativa de se estudar e mesmo predizer sobre fenômenos que envolvem uma variável apenas ou um pequeno número delas, e que, em função disso, abrangem a pesquisa sobre objetos complexos – é o caso do uso da terra e de suas modificações.

Godard e Legay descrevem objetos de pesquisa complexos como sendo aqueles que envolvem fenômenos descritos por diversas variáveis, algumas delas não-passíveis de mensuração, sendo que não se tem conhecimento do estado inicial do objeto (no sentido estrito do termo) (GODARD e LEGAY, 2000). Além disso, este objeto pode ter funcionamento instável. Portanto, quando se estuda o uso da terra e suas mudanças ao longo do tempo, torna-se necessária a abertura para novos paradigmas do conhecimento, como o paradigma da complexidade (TEILHARD DE CHARDIN, 2001; MORIN, 1996).

Entre as mudanças metodológicas necessárias para se trabalhar com estes novos paradigmas, desenvolveu-se o enfoque de modelos,

[...] através do qual “renunciamos ao conceito de lei no que ele tem de absoluto. Descartando toda e qualquer pretensão de exprimir a essência da realidade, assumimos um princípio de pluralismo de construções possíveis para se representar e compreender um objeto real. Um conhecimento puro, não mediatizado do mundo passa a ser reconhecido como inacessível. Do ângulo de uma epistemologia construtivista, “conhecer é modelizar” (Le Moigne, 1984)”. (GODARD e LEGAY, 2000).

O uso de modelos torna-se, em um contexto de mudanças de paradigmas científicos e de novas perspectivas metodológicas, uma importante forma de abordar o objeto de estudo. Briassoulis mostra como, a partir da segunda guerra mundial, ocorreu grande interesse e desenvolvimento neste campo de estudos, com uma variedade de disciplinas trabalhando sobre diferentes escalas de abordagem. A partir das décadas de 50 e 60, ocorreram iniciativas baseadas na chamada “revolução quantitativa” que atingiu a geografia, a

sociologia e o planejamento e que tentou formalizar modelos e teorias de uso e mudança na utilização da terra. Estas iniciativas foram abandonadas assim que suas limitações e seus fundamentos epistemológicos ficaram evidentes. Mais tarde, foram retomadas, quando as inovações nos campos da computação e do processamento de dados permitiram ampliar o tratamento do uso e das mudanças na utilização da terra, aproximando a abordagem quantitativa da qualitativa e da heurística (BRIASSOULIS, 2000).

Existem, entretanto, outros pontos de vista quanto ao uso de modelos, especialmente os quantitativos. Tais pontos de vista expressam a necessidade de uma avaliação criteriosa da validade da realização de estudos desta natureza, bem como cuidados na utilização das informações geradas por tais ferramentas, pois carecem de condições de representar a realidade e de gerar informações úteis, estando mais como um horizonte de desenvolvimento do que como uma opção operacional (GODARD E LEGAY, 2000).

Neste contexto, algumas perguntas podem ser apontadas: o que é uso da terra? O que é cobertura da terra e o que é modificação de ambos ao longo do tempo? Quais os padrões espaciais de uso/cobertura da terra na área de estudos? Quais as possíveis ligações entre as características do ambiente físico, do ambiente econômico e social com os padrões de mudanças do uso/cobertura da terra? Quais as possíveis correlações entre as diversas variáveis ambientais, econômicas, sociais e culturais da área de estudos? Que ferramentas de análise de dados podem ser utilizadas neste tipo de pesquisa? Os modelos matemáticos dinâmicos associados a uma base conceitual podem ser úteis no estudo destas questões e na composição de cenários de mudanças do uso/cobertura da terra? Que características seriam desejáveis em um modelo dinâmico computacional para servir à finalidade de trabalhar com mudanças no uso/cobertura da terra?

A seguir, buscar-se-á explicar a estrutura desta proposta de estudo que visou trabalhar este conjunto de questões, usando a base de conhecimento desenvolvida pelos diversos autores que pesquisaram o tema, a área de estudos e as ferramentas disponíveis, tais como a modelagem e os sistemas de informações geográficas.

Trata-se de um estudo no âmbito da ciência interdisciplinar, na linha de conhecimento “sociedade e meio ambiente”. O estudo utiliza conceitos da geografia física e humana e da ecologia da paisagem, aplicados na interface cultura - natureza. Foram utilizados conceitos de desenvolvimento e conservação ambiental, buscando dar base à discussão sobre a relação entre ser humano e natureza no que diz respeito, especificamente, à ocupação do espaço e desenvolvimento econômico ao longo da história.

No esquema proposto por Jollivet e Pavé, esta pesquisa faz parte do grupo que trata dos estados e dinâmicas bio-físico-químicas e das relações e dinâmicas sociais, usando a seguinte pergunta: “De que maneira as relações sociais entre os seres humanos repercutem nas modificações dos estados e dinâmicas bio-físico-químicas?” (JOLLIVET; PAVÉ, 2000).

O estudo tem como área de análise o Vale do Itajaí e utiliza, para fins de método de observação, as unidades municipais, conforme mostra a Figura 1. Foi utilizada, como recorte de análise, a área rural. As áreas urbanas foram utilizadas apenas eventualmente, tendo em vista a opção por uma escala de trabalho menor, que permitisse tratar da bacia hidrográfica do rio Itajaí como um todo, ou, pelo menos, de parte significativa dela.

Quanto à escala temporal, o estudo buscou analisar a relação natureza / cultura ao longo do período temporal estabelecido entre 1986 e 2000, tendo em vista a disponibilidade de imagens de satélite com características compatíveis para esse período.

## **1.2 A bacia do Itajaí como área de estudo**

Por volta de 1850, os primeiros colonizadores chegaram ao Vale do Itajaí. O lugar já era conhecido pela civilização ocidental, mas era habitado por povos indígenas. Deste modo, ocupar o espaço para estabelecer suas atividades estava entre as primeiras ações dos colonizadores e este processo de ocupação do espaço modificou o ambiente, tornando-o adequado para o estabelecimento de uma nova cultura.

Conforme enfatiza Santos, a história da colonização é a história da diferenciação entre ser humano e natureza. É a história da luta contra as adversidades do ambiente encontrado.

Mas também é a história da descoberta das potencialidades que este ambiente apresenta, das possibilidades do clima, dos solos, das plantas aqui encontradas. A história dos colonos no vale do Itajaí é a dialética entre ser humano e natureza (SANTOS, 1992).

A interferência dos colonizadores sobre o ambiente natural transformou-o em cultural através da agricultura, da exploração florestal, da urbanização, da industrialização, processos que necessitavam de espaços diferenciados e de recursos diversos. O desenvolvimento econômico demandava áreas de cultivo, criação de gado, mineração, transporte e diversas outras atividades que resultaram em mudanças na cobertura e no uso da terra.

À medida que foi sendo colonizado, o local passou a ser chamado de “Vale do Itajaí”, nome derivado do rio Itajaí, que drena toda a região. Os colonizadores iniciaram um processo de alteração do ambiente natural: retiraram a floresta, exploraram a madeira, abriram minas de prata e ouro, fizeram plantações e criaram gado, além de edificarem cidades. Ao longo do período de colonização, na segunda metade do século XIX e primeira metade do século XX, o Vale do Itajaí recebeu colonizadores provenientes de diversos locais da Europa, principalmente da Alemanha e da Itália (PIAZZA, 1988; PIAZZA, 1983).

Santa Catarina, e mais especificamente o Vale do Itajaí, apresenta certas peculiaridades na ocupação do espaço, no estabelecimento da área rural e da área urbana. Em que medida estas peculiaridades estão ligadas às formas de relação estabelecidas pelo processo de colonização entre colonizador e ambiente é uma questão que merece importância.

A economia própria do Vale do Itajaí mostra diversas características dos primórdios da colonização. A conservação ambiental é produto da necessidade de revisão nos padrões de relacionamento entre o ser humano e o sistema ambiental do qual é parte, podendo ser tratada como uma consequência da auto-organização do sistema.

Atualmente é possível observar uma dinâmica muito forte de mudanças no uso da terra ao longo do tempo, sendo uma das mais expressivas, o simples abandono da agricultura e da pecuária com a consequente recuperação das florestas naturais. É expressiva, também,

a transformação da agricultura com padrões coloniais em agricultura especialista, como, por exemplo, as culturas do arroz e da banana.

Para realização de parte dos objetivos propostos, foi definida como área de estudos a bacia do Itajaí. Esta área apresenta uma série de características e facilidades que motivaram sua escolha. Em primeiro lugar, tem sido objeto de estudos de um grande número de pesquisadores (PINHEIRO, 1990; THEIS, 1999; BUTZKE, 1999; FRANK, 1995; FRANK, 1999; FRANK, 2003; PINHEIRO e MORIN, 1999; THEIS, 1998; RAUD, 1999; MATTEDI, 2000; THEIS, MATTEDI e TOMIO, 2000; SIEBERT; PEIXER, 2001). Em segundo lugar, algumas pesquisas-chave para a realização dos objetivos propostos vêm já há tempos sendo realizadas nesta região (VIBRANS, 2003). Em terceiro lugar, existem informações disponíveis em diversas instituições como, por exemplo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e as Empresas de Abastecimento de Águas e Esgotos (Casan e Samae). Em quarto lugar, tal área apresenta certas características físico-naturais e mesmo sociais e culturais em comum, em função de sua história natural e de sua história cultural.

A bacia do Itajaí tem sido estudada em temáticas diversas, sendo as mais recorrentes: a questão das enchentes do Rio Itajaí-açu (MATTEDI, 2000), o planejamento e manejo ambiental da bacia hidrográfica (FRANK, 1999), a hidrologia e a previsão de enchentes (PINHEIRO e MORIN, 1999), a matriz energética regional (THEIS, 1999), a urbanização e as redes de vínculos comerciais e rodoviários (SIEBERT e PEIXER, 2001; SOUZA, 2003), a história (THEIS, MATTEDI e TOMIO, 2000). Muitos destes estudos analisam as questões ambientais paralelamente às demandas sociais.

Em um sentido estrito, os principais problemas ambientais presentes na bacia do Itajaí podem ser relacionados à forma de ocupação da terra nas cidades e áreas rurais, ao lançamento de poluentes nas águas, à retirada da cobertura florestal, ao uso de pesticidas na agricultura. Apesar de serem registrados diversos avanços em termos de tecnologia e políticas públicas, as questões permanecem na pauta, como que indicando sua natureza complexa e a necessidade de análises mais profundas sob o ponto de vista epistemológico e conceitual. A compreensão da relação entre sociedade e natureza está na base da problemática ambiental – e com a bacia do Itajaí não é diferente.

Por outro lado, existem demonstrações claras da necessidade de análises mais aprofundadas sobre a relação entre os fatores de desenvolvimento e de degradação ambiental (incluindo o social). É importante avaliar possíveis interações entre estes fatores, tanto para a sua identificação quanto para a definição de caminhos que levem a soluções práticas que contribuam para a busca de saídas para os problemas que a humanidade enfrenta na contemporaneidade, sejam de ordem local ou de ordem global, sejam de resolução a curto, médio ou longo prazo.

Problemas de ordem social e econômica têm sido observados e também podem ser correlacionados à forma de ocupação do espaço, dentre outros fatores que interagem no sistema ambiental. Assim, altos níveis de vulnerabilidade social e econômica, convivência com eventos de risco como as enchentes, má distribuição de riqueza, êxodo rural e outros tipos de migração, questões de produção e consumo de energia, problemas ligados à geração de resíduos, bem como problemas ligados à exploração excessiva de recursos naturais estão ligados aos padrões de ocupação do espaço, e, antes disso, estão ligados aos padrões culturais da sociedade.

Alguns estudos mais atuais têm apontado tendências para um quadro mais positivo para o vale do Itajaí. Os trabalhos de Frank, Frank e Vibrans e Vibrans, por exemplo, analisam os processos de ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí, incluindo diversos fatores que estão relacionados diretamente e indiretamente com o problema das enchentes. Nestes estudos, mostra-se, por um lado, que o problema das enchentes está relacionado à forma da ocupação do solo e que certos tipos de ocupação conduzem a uma degradação da qualidade ambiental, tendo como consequência um aumento na frequência das enchentes e um agravamento na intensidade dos danos por elas causados. Por outro lado, evidencia-se em alguns casos uma reversão nesse processo, devido a importantes modificações no uso da terra (FRANK, 1995; FRANK, 1999; FRANK e VIBRANS, 2003 e VIBRANS, 2003).

Frank desenvolve estudo abrangendo um período de meio século de história (1940 a 1990) da ocupação da bacia do Itajaí, no qual mostra a existência de uma relação entre as mudanças no uso do solo e as alterações no escoamento de água, tendo como consequências o agravamento do problema das enchentes. Constatou um acréscimo dos



coeficientes de escoamento ao mesmo tempo em que estas mesmas áreas tinham sua cobertura florestal retirada para implantação de áreas agrícolas e pastagens (FRANK, 1995).

As pesquisas acima citadas (Frank, Frank e Vibrans e Vibrans) discutem sobre a relação existente entre a degradação da qualidade ambiental, a redução da renda nas propriedades rurais e o êxodo rural, o uso do solo e a ocorrência de enchentes. Todos os estudos apontam para um ponto de inversão no processo de transição de uso da terra entre as classes vegetação natural e agropecuária, apontando a década de 80 como provável momento para esta inversão. Daí o interesse em ampliar o conhecimento desses processos, mesmo reconhecendo de antemão os problemas postos pela sua complexidade.

A elaboração de modelos conceituais e matemáticos tem sido utilizada como método de estudos para se compreender a questão do uso da terra e de sua mudança ao longo do tempo. Mesmo tendo clareza de que os modelos geralmente são simplificados e reducionistas, reconhece-se que eles podem servir como uma importante ferramenta para o estudo do uso e das mudanças de uso da terra ao longo do tempo; dos fatores envolvidos na determinação dos padrões de uso da terra; no estudo de como e quando as mudanças no uso da terra ocorrem; e para a geração de cenários e simulações (BRIASSOULIS, 2000).

Cabe ressaltar que a Universidade Regional de Blumenau apresenta alguns núcleos de pesquisa sobre a região. Dentre eles, destacamos o Instituto de Pesquisas Ambientais, que tem se dedicado a longos estudos sobre a questão ambiental no Vale do Itajaí, e o Instituto de Pesquisas Sociais. Juntamente a estes núcleos, instituições político-administrativas têm dado suporte à pesquisa, na busca de mecanismos de gestão para a região: a Região Metropolitana do Médio Vale do Itajaí e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí são exemplos.

Nesta direção, acredita-se que uma melhor compreensão de como a ocupação do espaço ocorreu ao longo da história no Vale do Itajaí e, principalmente, de quais padrões são observados ao longo do tempo para esta ocupação, pode contribuir para o esclarecimento

de aspectos fundamentais na busca de uma nova relação ser humano - natureza baseada em conceitos modernos que levem em conta a complexidade, a interdisciplinaridade e a multidimensionalidade dos fatores envolvidos na mudança deste espaço.

### **1.3 Abordagem Científica para o estudo**

Para o estabelecimento da metodologia de trabalho e a estruturação da pesquisa, foram formuladas uma pergunta de partida e algumas perguntas auxiliares, as quais estão expostas a seguir. Por fim, foi formulada uma pergunta prospectiva, como forma de remeter à utilização dos resultados.

#### **1.3.1 Perguntas de Pesquisa**

O estudo será realizado tendo como questão científica central a seguinte pergunta:

“De que forma os fatores econômicos, sociais e físico-bióticos, bem como suas interações, determinam o uso e a cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itajaí, no período compreendido entre 1986 e 2000?”

Serão utilizadas, também, algumas perguntas de pesquisa auxiliares, conforme abaixo:

“Como foi o uso da terra, na área de estudos, de 1986 a 2000?”

“Que modelos conceituais e matemáticos podem representar o uso da terra e sua dinâmica espaço-temporal?”

“Quais os padrões de espacialização que se pode observar na área de estudos, na escala da bacia hidrográfica?”

“Existem correlações entre eles e outros parâmetros físico-naturais, sócio-econômicos e culturais?”

“De que forma estas correlações podem ser explicadas?”

Coloca-se, ainda, uma pergunta prospectiva:

“De que forma o conhecimento do uso da terra, de seus padrões de espacialização e de suas correlações com parâmetros físico-naturais e sócio-econômicos, pode servir à tomada de decisão?”

#### **1.4 Proposição de uma hipótese para o estudo**

Este estudo também trabalha com a análise de uma hipótese, organizada em torno dos resultados apontados pelos trabalhos de Frank, Frank e Vibrans e Vibrans. Nestes estudos, os autores mostram que após um período de superexploração dos recursos da bacia, em algum momento na década de 1980, percebe-se uma inversão nesta tendência com o surgimento de um novo período de exploração menos degradadora do ambiente – especialmente no que concerne à contínua redução dos espaços florestados da bacia (FRANK, 1995; FRANK, 1999; FRANK e VIBRANS, 2003 e VIBRANS, 2003).

Esta discussão pode muito bem ser inserida no contexto da sustentabilidade e da complexidade. Em primeiro lugar, o estudo da relação entre o uso da terra, demografia, economia e meio ambiente envolve inúmeros fatores atuando em conjunto sobre os processos naturais e culturais, o que nos coloca no âmbito da complexidade. Por outro lado, as relações entre o uso que se faz dos recursos (uso da terra) e o desenvolvimento da sociedade permite abordar a questão da sustentabilidade, já que existe a relação entre uso dos recursos, desenvolvimento, renda e qualidade ambiental, tanto na perspectiva de que o desenvolvimento enquanto amplia a renda reduz a qualidade ambiental, quanto na perspectiva de que a redução da renda causa tanto uma redução do desenvolvimento quanto da qualidade ambiental, ou mesmo em outras perspectivas com os mesmos fatores reorganizados.

Segundo os estudos acima citados, é possível formular uma proposição de estudo que leve em conta o uso da terra na bacia do rio Itajaí, o desenvolvimento e sua sustentabilidade, sendo que esta proposição deva ser estudada dentro da perspectiva da complexidade.

Segundo esta proposição, considera-se inicialmente que, até a década de 1980, ou até algum momento nesta década, o uso da terra, da forma como se estabelecia, promovia um tipo de desenvolvimento pouco sustentável, baseado:

1. na exploração intensiva de recursos florestais sem critérios que não os de maximizar os ganhos;
2. no uso intensivo das terras assim desflorestadas, quaisquer que fossem suas características, para uma série de culturas, tanto visando a subsistência como aos mercados mais imediatos, e muitas vezes sem quaisquer medidas de proteção do solo contra a erosão ou as enxurradas.

Atualmente, contudo, existem indícios de que este processo vem mudando, exatamente a partir da década de 1980, para condições de uso da terra mais compatíveis com a recuperação das áreas florestadas, bem como para tipos de exploração agropecuária mais adequados às condições físicas do terreno.

### **1.5 Objetivo do estudo**

O objetivo geral deste estudo é analisar a relação entre o ser humano e a natureza, materializada pelo uso da terra, determinado por múltiplos fatores e suas interações, tendo como foco o caso do Vale do Itajaí.

Especificamente pretende-se:

- ? Estudar de que forma os fatores econômicos, sociais e físico-bióticos, bem como suas interações, determinam o uso e a cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itajaí, no período compreendido entre 1986 e 2000;
- ? Obter referências teóricas sobre a relação cultura – natureza, sobre uso da terra, sobre desenvolvimento econômico e social e sobre qualidade ambiental, utilizando-as para discutir a problemática da área de análise;
- ? Adquirir uma base de informações sobre a área de estudos, usando os municípios como unidades de análise, trabalhando na escala 1:50.000, adequada à análise de estrutura e processos neste nível de abordagem. Nesta base, deverão ser considerados dados atuais e passados.

- ? Estruturar um sistema de informações geográficas (SIG) para organização das informações obtidas no objetivo específico anterior;
- ? Estudar o uso da terra na área de estudos durante o período de 1986 a 2000;
- ? Avaliar os tipos de modelos conceituais e matemáticos que possam representar o uso da terra e sua dinâmica espaço-temporal e estruturar um modelo dinâmico para a área de estudos;
- ? Avaliar os padrões de espacialização na área de estudos, na escala da bacia hidrográfica;
- ? Avaliar a existência de correlações entre eles e outros parâmetros físico-naturais, sócio-econômicos e culturais e tentar a explicação destas correlações;

## **1.6 A estrutura deste documento**

A estrutura deste documento contempla, primeiramente, uma parte introdutória e, na sequência, os capítulos que desvelarão as questões de pesquisa propostas neste estudo. Os Capítulos dois, três e quatro, a seguir, pretendem abordar a base teórica necessária ao tratamento da questão central do trabalho. O capítulo dois trata dos conceitos básicos de uso da terra, desenvolvimento e meio ambiente, bem como das relações entre os três temas. O capítulo três aborda a relação entre o estudo das mudanças no uso da terra com as questões da complexidade e da interdisciplinariedade; o capítulo quatro versa sobre os modelos, especialmente os dinâmicos, para se tratar de mudança de uso da terra. Na sequência, no capítulo cinco, é apresentado o caso da mudança de uso da terra no vale do Itajaí, a partir do emprego de um modelo dinâmico. Neste capítulo, em princípio, é apresentada a parte experimental realizada com o modelo dinâmico de mudança de uso da terra sobre informações da área de estudo para, em seguida, discutir os resultados deste experimento, o comportamento do modelo e os resultados sobre a mudança de uso da terra na área do estudo. No capítulo seis, são apresentadas as conclusões, as considerações finais e as recomendações. Material cartográfico, bibliografia complementar e tabelas de cálculos do modelo dinâmico são apresentados como Anexos. Em alguns itens, ao final, é

apresentada uma síntese do assunto tratado como forma de facilitar a compreensão do pensamento do autor.

Neste item, mostrou-se os resultados das análises realizadas através de métodos numéricos aplicados utilizando o SIG e outros programas de análise numérica. Em primeiro lugar, apresentou-se as matrizes de mudança de uso da terra entre 1986 e 2000 as quais mostram a classe de origem e a classe de destino das terras em cada transição.

Depois, foram apresentados os resultados da avaliação dos fatores de transição e a associação dos mesmos com cada uma das transições observadas na área de estudos. A principal transição, Agropecuária para Vegetação Natural está ligada à quatro variáveis: Distâncias a rodovias primárias, Vazão mínima específica, Declividade e Distâncias a cursos d'água, todas elas de forma direta, enquanto que a segunda transição mais importante, Agropecuária para Arrozais está ligada a duas variáveis: Distância de Centros Urbanos e Distância de Rodovias Primárias, ambas de forma indireta, ou seja, à medida que aumenta o valor da variável, reduz-se a ocorrência da transição. Em seguida apresentou-se os resultados do processo de modelagem e simulação das mudanças do uso da terra ao longo do tempo, que foi realizado utilizando o programa DINÂMICA, o qual teve como produto final o mapa simulado de uso da terra em 2000.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Uso da Terra, Desenvolvimento e Meio Ambiente

Os conceitos de crescimento, desenvolvimento e sustentabilidade são de grande importância também para a discussão sobre o uso da terra. A forma como se dá o uso da terra e as consequências deste sobre a sociedade e sobre o meio ambiente têm relação direta com os conceitos de crescimento e desenvolvimento correntes.

O estudo do uso da terra pode contribuir com a questão da sustentabilidade, já que a terra provê recursos, por um lado, e impõe limitações, por outro. Entretanto, o uso da terra apresenta conexões diversas com a grande gama de problemas ambientais estudados hoje em dia.

Utilizando uma definição bastante simples, pode-se dizer que o uso da terra representa os tipos de atividades humanas que são desenvolvidas sobre as terras. É como se, a partir do uso da terra, o ser humano empreendesse as suas atividades, realizasse as suas ações sobre a biosfera. Normalmente, as atividades econômicas se dão em algum lugar, exploram algo que é extraído de algum lugar e, mesmo, despejam algo em algum lugar. Estes “lugares” podem ser compreendidos como “uso da terra”.

A solução dos problemas ambientais somente poderá ser alcançada levando em conta exatamente os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento. Algumas condições devem ser rigorosamente cumpridas para que a atividade econômica ou o modo de vida atinja a sustentabilidade em relação ao uso de recursos renováveis e não-renováveis, à geração de resíduos e os impactos ambientais associados (EKINS, 1993, p.93).

As condições apontadas por Ekins em relação à sustentabilidade (EKINS, 1993, p.93-4) são:

- ? prevenção de desestabilização provocada por mudanças globais na atmosfera;
- ? manutenção da biodiversidade através da proteção de ecossistemas importantes;

- ? exploração sustentada de recursos renováveis através da manutenção da fertilidade do solo, dos ciclos bio-geoquímicos e cobertura vegetal;
- ? uso intensivo dos recursos não-renováveis através de um *design* de produtos duráveis, não-descartáveis, reparáveis, recondicionáveis, reutilizáveis e recicláveis (4 Rs);
- ? esgotamento de recursos não-renováveis deve ocorrer em uma taxa que permita a manutenção de, pelo menos, um mínimo de expectativa de vida do recurso. Neste nível, o consumo deverá ocorrer a uma velocidade que permita novas descobertas de recursos. Além disso, todo o esgotamento destes recursos deve envolver contribuições para um fundo de capital para financiar a busca de alternativas ou eventuais transições ou substituições tecnológicas;
- ? as emissões de substâncias no ar, no solo e nas águas não devem exceder a capacidade da Terra de absorver, neutralizar e reciclar estas substâncias. Estas quantidades não devem causar prejuízos à vida.
- ? O risco de dano à vida provocado pelas atividades humanas precisa ser mantido em níveis muito baixos. Tecnologias que envolvem risco de longa duração aos ecossistemas, tais como a energia nuclear, necessitam ser repensadas e, se possível, abandonadas.

É importante, antes de tudo, fazer um breve apanhado sobre as definições de ambiente natural e antrópico para, mais tarde, tratar das questões da sustentabilidade relacionada com a economia e o uso da terra mais especificamente, passando pelos conceitos da área do desenvolvimento sustentável, bem como levantar as conexões entre o uso da terra e os problemas ambientais com ele identificados.

Uma das questões fundamentais para se tratar de atividades humanas e seu estabelecimento sobre a natureza é exatamente a discussão sobre natureza e cultura. O que é ambiente natural e o que o diferencia de ambiente antrópico? É plausível a existência de um marco que divide o tempo do ser humano como uma espécie do reino animal apenas e o ser humano cultural, consciente de sua posição. Este momento de



mudança entre estes dois seres humanos é marcado pelo uso de instrumentos tecnológicos, pelo uso da técnica. O uso da tecnologia pode ser tratado como um fator exógeno à natureza humana anterior. O instrumento é a realização concreta e consciente do querer ultrapassar obstáculos antes invencíveis. Assim, o uso da técnica pode ser considerado um divisor de águas entre os tempos do ser humano e do ser humano cultural.

O ser humano cultural desenvolveu diversos tipos de relação com o meio que o rodeia, tais como a agricultura, a pecuária, a manufatura de instrumentos e ferramentas, as edificações e urbanizações que o diferenciam de seus antepassados. Grande parte ou talvez a totalidade destes desenvolvimentos se estabelece sobre os espaços disponíveis no planeta, alterando-os em certa monta. Tais alterações podem ser, por exemplo, a retirada da cobertura vegetal e o plantio de uma cobertura alternativa, uma cultura agrícola. A alteração, em si, também é provocada por todas as espécies animais e vegetais e mesmo pelas formas inanimadas que, no seu processo nas cadeias de relações do planeta, sempre se alteram umas às outras, dentro de um equilíbrio dinâmico em direção à evolução (FORMAN, 1995; FORMAN e GODRON, 1986).

As alterações produzidas pelo ser humano cultural passaram a ser superlativas e o próprio mecanismo de questionamento destas alterações pode mostrar-se como uma resposta do sistema em busca de um novo equilíbrio. Como diz Morin, “não é certo que a natureza comporta um princípio de variedade que é testemunhado pelos milhões de espécies vivas? Não comporta um princípio de transformação? Não comporta em si própria a evolução, que conduziu ao ser humano? Será a natureza humana desprovida de qualidades biológicas?” (MORIN, 1973, p.16).

No sentido da discussão da posição do ser humano frente à natureza, Morin ainda apresenta o seguinte: “[...] No entanto, esta dualidade antitética homem/animal, cultura/natureza esbarra contra toda a evidência: é evidente que o homem não é constituído por duas camadas sobrepostas, uma bio-natural e outra psicossocial, é evidente que não transpôs nenhuma muralha da China que separasse a sua parte humana da sua parte animal; é evidente que cada homem é uma totalidade biopsicossociológica”. (MORIN, 1973, p.18).

Morin trata a cultura como a “complexidade mais rica da sociedade hominídea, a qual

necessita, pelo menos a partir do *Homo erectus*, primeiro para se manter e depois para se desenvolver, de um conjunto de regras e informações, regras essas que não são geneticamente inatas no indivíduo e que também não resultam do simples jogo de interações entre indivíduos e grupos. Por outras palavras, a cultura constitui um sistema generativo de alta complexidade, sem o qual essa alta complexidade ruiria para dar lugar a um nível organizacional mais baixo. Neste sentido, a cultura deve ser transmitida, ensinada, apreendida, quer dizer, reproduzida em cada novo indivíduo no seu período de aprendizagem (*learning*), para se poder autoperpetuar e para perpetuar a alta complexidade social”. (MORIN, 1973, p.75).

A cultura é a base de todas as atividades do ser humano moderno, inclusive na forma como este ocupa o espaço e desenvolve suas atividades sobre o ambiente. A partir das mudanças nas sociedades de hominídeos impostas pelo desenvolvimento cultural, atingiram-se níveis mais complexos de organização e de desenvolvimento que permitiram às sociedades primitivas passar da caça e coleta à pecuária e agricultura e, mais tarde, à urbanização. Fundamental neste processo parece ser o aumento da população de seres humanos. Este aumento funcionaria como catalisador do processo de inovação agrícola e urbano. Pressão demográfica e expansão da espécie pelo planeta, com a concentração em determinados locais em função de fecundidade do ambiente, resultaram na necessidade de promover avanços para solucionar questões de sobrevivência.

“Para se imaginar a constituição das sociedades históricas, torna-se necessária, em primeiro lugar, a expansão demográfica da espécie sobre o globo (sucesso seletivo da arqui-sociedade que causaria a sua perda) e concentrações demográficas nas regiões excepcionalmente férteis, onde passassem bandos de animais com frequência e cuja fecundidade vegetal fosse anualmente restaurada pela cheia regular dos rios. Portanto, torna-se necessário pressupor condições ecossistêmicas excepcionais, em que a densidade populacional incita a uma agricultura que se torna rapidamente sistemática, e talvez também a uma criação de grandes manadas de animais, por conseguinte um aumento da concentração da população. A sedentarização fixa as populações agrícolas em aldeias relativamente próximas umas das outras e a tribo passa a ser um subsistema aberto que se integra numa organização demograficamente mais vasta. Como, por outro, lado, é difícil conceber que os homens tenham abandonado a prática das armas para se dedicarem exclusivamente a ocupações de mulheres, é plausível supor que, na medida em que o homem se faz pastor ou agricultor, a guerra suceda a caça e passe a ser um elemento ativo na nova sociogênese”. (MORIN, 1973, p.173-4).

Outro grande marco da evolução cultural foi o desenvolvimento organizacional exemplificado pela federalização, pela liderança, pela hierarquização e pela especialização, bem como pela organização dos grupos sociais em proto-cidades. Mais tarde, as cidades

buscaram sua organização através do desenvolvimento, e hoje questiona-se a possibilidade de alcançar a sua sustentabilidade.

O desenvolvimento sustentável é promovido por grupos que têm um tipo de pensamento que pode ser classificado como pensamento da sustentabilidade. Nesta visão, se quer resolver a contradição existente entre a produção e a ecologia, fazendo a produção ecologicamente sustentável.

Algumas críticas remetem ao pensamento da sustentabilidade, principalmente quanto a uma tendência de manutenção do *status quo* nas visões de mundo, na economia e na geopolítica. Tais críticas recaem sobre o relatório Brundtland, o qual dá preferência à perspectiva econômica dos países em desenvolvimento. Apesar disso, por princípio, o desenvolvimento sustentável envolve diversidade, abordagem política, orientações éticas, o que indica a necessidade de avanços nestas áreas para alcançá-lo, o que envolveria mudanças radicais estruturais, sociais e ambientais.

A sustentabilidade do desenvolvimento causaria mudanças radicais nos estilos de vida, as quais, nos parece, seriam de difícil “digestão” pelo mundo consumista. Estas mudanças atingiriam os modos de vida e convivência, os modos de transporte, de alimentação, de lazer e, sem dúvida, os modos de produção. Ekins escreve a respeito destas prováveis modificações no plano das atividades econômicas:

“Isto certamente envolveria grandes mudanças nos estilos de vida, tais como reduzir o uso de carros motorizados particulares. Um programa desta natureza provavelmente não agregaria crescimento ao PIB. Ele certamente traria uma radical reestruturação da produção e consumo na qual as atividades poluidoras e esgotadoras de matérias primas seriam tanto mais eficientes quanto reduzidas, enquanto atividades sem este impacto ambiental receberiam uma relativa vantagem nos preços. A agricultura orgânica seria beneficiada frente à agricultura química intensiva. Ciclistas e outros que usam transporte público ganhariam em relação aos motoristas privados. Investimento em conservação e eficiência energética poderia receber um grande retorno em relação ao uso da energia. Isto não seria um processo de Pareto, para algumas pessoas seria inevitavelmente pior. Alguns preços subiriam, e algumas atividades diminuiriam. Estas poderiam reduzir o crescimento na produção, porém não haveria garantia de que a substituição de atividades ou tecnologias poderia compensá-las completamente.” (EKINS, 1993, p.99).

O mundo passa por uma crise ecológica sentida desde o final do século XX, que é produto de padrões econômicos e ecológicos estabelecidos pela sociedade histórica desde tempos passados. Esta crise ecológica está ligada à produção, reprodução e visões de

mundo, as quais afetam diferentemente o primeiro, segundo (sic!) e terceiro mundos (EKINS, 1993, p.17 e 22).

As ligações entre os processos de produção, reprodução, consumo, depleção e poluição que acompanham a economia humana são desconsideradas por visões dos sistemas de conhecimento científico atual (EKINS, 1993, p.22).

As relações entre ecologia e produção levam à primeira contradição das que constituem a crise ecológica. Os sistemas de produção humana acrescentam um *stress* crescente sobre a natureza não humana através dos ciclos bio-geoquímicos e troca de energia, que unificam todos os processos ecológicos. Como a depleção e poluição se aceleram, elas excedem a resiliência da natureza não humana, minando severamente sua capacidade de se recuperar dos assaltos induzidos pela ação humana (EKINS, 1993, p.23).

A partir do século XVI, observam-se os primeiros movimentos que tiveram como resultado os padrões econômicos e de desenvolvimento atuais, que têm profunda relação com a crise ecológica. Naquela época, a economia procurou evoluir de uma forma feudal, baseada no pagamento de bens e serviços aos detentores do poder para uma forma que otimizasse a exploração do capital e do trabalho. Tal evolução ocorreu, a princípio, na Europa e, em seguida, nas colônias. As primeiras atividades que entraram neste novo esquema foram a mineração e a fabricação de têxteis, as quais empregavam gente que deixara de obter o próprio sustento para comprá-lo com o salário ganho (EKINS, 1993, p. 23).

O capitalismo europeu expandiu-se pelas colônias nos hemisférios sul e oeste. Nestes locais, as regras do capital eram impostas pela força das armas e da cruz. Este processo de acumulação do excedente econômico gerado pela exploração a baixos custos dos recursos naturais e pela venda de bens manufaturados pelos preços do mercado permitiu financiar as etapas seguintes da revolução industrial. O processo da revolução industrial, contudo, nos seus “benefícios” não foi estendido ao mundo todo. Fora a Europa, USA e URSS, nenhuma outra região conseguiu o mesmo desenvolvimento sem assistência econômica ou dependência (EKINS, 1993, p. 23).

Uma exigência inerente ao sistema capitalista é exatamente a necessidade contínua de crescimento econômico ou de mecanismos que incentivem o consumo. Isto é o que move a economia, mantém o nível de empregos para uma população em constante crescimento.

O conceito de desenvolvimento evolui ao longo do tempo. Os conceitos de crescimento, desenvolvimento, desenvolvimento sustentável e desenvolvimento humano são marcos conceituais que mostram esta evolução.

O Relatório Brundtland parece ser a referência mais importante para o estudo da conceituação do desenvolvimento sustentável, uma vez que se trata de um marco de referência representativo do pensamento, à época, de um grande grupo de nações.

A conceituação do termo “desenvolvimento sustentável” pelo Relatório Brundtland estabelece, em primeiro lugar, uma nova base para se considerar o meio ambiente e o desenvolvimento. Nesta base, o desenvolvimento técnico e a capacidade de agir de forma cooperativa são destacados como qualidades para o progresso, usadas freqüentemente de modo construtivo para o desenvolvimento e a proteção ao meio ambiente, não sendo, porém, suficientes para garantir sua sustentabilidade.

É de fundamental importância, ainda, fundamentar a administração do meio ambiente e do desenvolvimento de forma conjunta, pois que estão intimamente interligados de forma sistêmica complexa. Sua ligação, segundo o Relatório Brundtland, pode ser visualizada de três formas: interligação dos problemas ambientais entre si; ligação de interdependência entre desgastes ambientais e padrões de desenvolvimento e os problemas ambientais, os fatores sociais e políticos que estão correlacionados.

O Relatório Brundtland cita, ainda, uma quarta forma de característica sistêmica da questão que diz respeito à inexistência de fronteiras nacionais quando se está tratando de problemas ambientais.

Entretanto, um dos pontos de grande impacto do relatório, medido através do número de vezes que é citado quando se fala em sustentabilidade, é a menção à continuidade do potencial natural para as próximas gerações: “O desenvolvimento sustentável procura atender às necessidades e aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de

atendê-las no futuro” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, pg 48).

O Relatório Brundtland tem sofrido algumas críticas, por aqueles que observam uma tendência deste na manutenção do *status quo* de crescimento econômico. Em certos trechos, o relatório permite a interpretação de que desenvolvimento sustentável não necessariamente significa contradição com o crescimento econômico. Tanto que o setor empresarial adota o discurso da sustentabilidade (EKINS, 1993, p.92).

O Relatório Brundtland, deixa claro que o desenvolvimento econômico é fundamental para a humanidade, mas também estabelece que um rateio mais igualitário das benefícios naturais e antropogênicas é, da mesma forma, fundamental.

“Longe de querer que cesse o crescimento econômico, reconhece que os problemas ligados à pobreza e ao subdesenvolvimento só podem ser resolvidos se houver uma nova era de crescimento na qual os países em desenvolvimento desempenhem um papel importante e colham grandes benefícios.” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, pg 44).

O Relatório Brundtland também coloca como fundamental para a sustentabilidade a manutenção das raízes que, por sua vez, mantêm as atividades econômicas e a compreensão da diversidade de tipos de esquemas de sustentabilidade. Ou seja, é difícil imaginar que, dada a diversidade da biosfera, seja possível aplicar um esquema de sustentabilidade para o desenvolvimento em toda a Terra.

Por fim, neste novo esquema de relacionamento com o meio ambiente, a cooperação internacional é de fundamental importância, buscando criar fluxos de capital, comércio e tecnologia mais eqüitativos.

Especificamente sobre o conceito, o Relatório Brundtland diz que

“em essência, o Desenvolvimento Sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p. 10).

É uma formulação imprecisa, segundo Ekins, já que não faz distinções entre as necessidades dos diferentes cantos do mundo, nem mesmo entre as necessidades do ser humano e os bens que o consumidor quer para sua satisfação (EKINS, 1993, p91).

Em termos práticos, este conceito introduz dois outros conceitos importantes: o de necessidades e a noção de limitações. “Necessidade” diz respeito às necessidades humanas para a sobrevivência, a vida e a satisfação da qualidade de vida. “Limitações”, por outro lado, estabelece que existem limites na tecnologia e na organização social que impedem que o meio ambiente atenda às necessidades presentes e futuras.

A conceituação de Desenvolvimento Sustentável, porém, está sujeita a diferentes pontos de vista, o que dá origem a conceitos diversos. É o que se observa no meio científico – um grande número de visões sobre sustentabilidade. Uma área de grande incerteza é o relacionamento entre desenvolvimento sustentável e crescimento econômico (EKINS, 1993, p. 91).

Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável são expressões muitas vezes encontradas em vasto número de trabalhos científicos disponíveis sobre o assunto de que trata este trabalho: o uso do solo e da terra e cobertura do solo, assim como cobertura da terra. As diferenças na compreensão do significado de cada termo foram discutidas na introdução. Por outro lado, é importante discutir e definir o significado do uso da terra neste trabalho, o que contribui para a sua situação no campo científico.

Desenvolvimento pode ser diferenciado de crescimento de uma forma bastante simples, dizendo que crescimento significa um aumento em uma escala física, quantitativa; enquanto desenvolvimento significa uma melhoria ou um desdobramento de potencialidades (EKINS, 1993). Ou seja, desenvolvimento não está necessariamente ligado ao quantitativo. É claro que, em determinadas circunstâncias, mesmo o desenvolvimento envolve aumento em uma escala física, isto é, em alguns casos, o desenvolvimento é quantitativo e pode depender, nesta situação, do crescimento (DALY citado em EKINS, 1993).

Um outro problema na noção de desenvolvimento em relação ao crescimento, diz respeito às dificuldades implícitas de separá-los quando se trata de questões que envolvem a vida, tais como as ambientais e as do bem-estar.

Ekins (1993) ainda diferencia o crescimento em três tipos: crescimento da produção, o qual significa o aumento do PIB; crescimento ambiental, que significa um aumento dos recursos ou serviços da natureza, também conhecido como Produto Natural Bruto (não necessariamente contabilizados dentro do PIB) e; crescimento do bem-estar ou da utilidade, que significa o crescimento dos fatores de bem-estar (produção, emprego, meio ambiente, condições de trabalho, lazer, distribuição de renda, saúde e previdência).

Desta forma, fica mais fácil distinguir crescimento de desenvolvimento, uma vez que o último está mais associado ao crescimento do bem-estar e, ainda, o desenvolvimento pode não ocorrer com o crescimento do PIB. Por outro lado, o PIB pode não crescer quando ocorrer desenvolvimento.

Segundo Ekins, uma das questões ainda em aberto a respeito de desenvolvimento e crescimento diz respeito à “quanto crescimento de produção, se algum ainda é possível sem ocasionar realimentação negativa sobre o bem estar (utilidade), o que é de grande importância em sociedades de alto consumo e alto grau de poluição” (EKINS, 1993).

Heilig apresenta três questões como fundamentais no estudo das mudanças de uso da terra: o processo de urbanização e industrialização; a explosão da mobilidade individual, mercados e turismo; as mudanças fundamentais no estilo de vida, tais como as mudanças nas preferências alimentares (HEILIG, 1995).

Diversos fatores podem ser destacados como indutores de mudanças no uso da terra. Heilig, estudando o caso da China, identifica cinco fatores como as mais importantes forças indutoras de mudanças no uso da terra na China. São elas: 1)crescimento da população; 2)urbanização; 3)industrialização; 4)mudanças no estilo de vida e consumo; 5)arranjos políticos e econômicos futuros e instituições. Dentre estes, Heilig cita a migração das áreas rurais para urbanas e o crescimento de cidades e infra-estrutura industrial como fatores determinantes (HEILIG, 1996).



A urbanização causa a expansão das áreas construídas, faz aumentar a população concentrada nas cidades, aumenta a demanda por serviços e infra-estrutura mais do que para as populações rurais. Estas populações demandam insumos externos tais como materiais, energia e espaço para, por exemplo, a disposição de resíduos e esgotos.

A industrialização, ligada fortemente à urbanização, induz a um aumento dos fluxos da população rural para as áreas urbanas; demanda mais locais para instalação das “plantas” industriais, bem como aumenta a necessidade de matérias-primas, energia e infra-estrutura de transporte. Neste processo, a terra deixa de gerar alimento como produto mais importante e passa a gerar outros produtos/insumos para a indústria.

Os padrões de consumo também afetam o uso das terras produzindo mudanças. Quando novos padrões de consumo surgem, ocorrem também mudanças no uso da terra a exemplo do aumento do uso desta na esfera privada e para recreação. O consumo de alguns produtos se torna predominante, tais como açúcar, estimulantes, carne, óleos vegetais e, mesmo, drogas. Os salários mais altos e o tempo livre maior aumentam as atividades de turismo e lazer, o que maximiza a demanda por transporte, por exemplo.

Síntese:

Neste item, tratamos de mostrar que o uso da terra apresenta relações estreitas com o processo de desenvolvimento, tendo conseqüências sobre as condições do meio ambiente. O uso da terra, conforme considerado nesta pesquisa, pode decorrer da ação da natureza ou das atividades humanas e, por outro lado mostra-se dinâmico, alterando-se ao longo do tempo, seja por ações da própria natureza, seja por ações humanas que se sobrepõem utilizando os recursos naturais ou modificando as condições do ambiente natural.

Observa-se, desta forma que o uso da terra pode ser relacionado com o desenvolvimento, tanto promovendo-o, quanto demovendo-o. Por isso mesmo, considerando o novo paradigma da sustentabilidade, o uso da terra passa a ter interferência também sobre o desenvolvimento sustentável. Neste caso, o uso da terra pode indicar a realização de atividades mais sustentáveis ou menos sustentáveis. A

sustentabilidade, neste caso, pode considerar tanto aspectos econômicos, quanto sociais, quanto ambientais.

Por último, destaca-se que o uso da terra, em um processo dialético, sofre interferências ele próprio, do processo de desenvolvimento, o que resulta em determinados padrões e condições de uso da terra.

## **2.2 Sobre espaço, tempo, técnica e desenvolvimento**

O ser humano ocupa o espaço modificando-o e estabelece as estruturas para sua sociedade. A modificação do espaço implica remoção ou alteração da cobertura natural, implantação de cobertura alternativa, revolvimento de solos, utilização e modificação da quantidade e qualidade da água, alteração de clima e microclima, alteração de ciclos de diversas substâncias, alteração de ritmos.

Na área de estudos, estão articuladas unidades em diversos níveis hierárquicos, ligadas a diversas instâncias de poder. Essas unidades têm relação com a exploração da natureza, com o mercado e com o desenvolvimento, bem como com a qualidade do meio ambiente.

A organização do espaço, segundo Leroy e Acsehrad, está intimamente ligada ao modo capitalista de produção, o qual exige, para sua manutenção e reprodução, a mudança do espaço natural em espaço de produção em uma direção e sentido específicos, descomplexificando, de forma geral, todo o sistema e os subsistemas nos quais se apóia. (LEROY e ACSELRAD, 2000)

No modo de produção capitalista, vemos a produção extensiva em grande escala, a aceleração de ritmos, a homogeneização de espaços sociais e naturais. Na verdade, o desenvolvimento tem se constituído em um processo de redução da complexidade do mundo. Ele reduz a complexidade do tecido social e dos ecossistemas; transforma seres humanos em assalariados ou miseráveis; e a natureza em monoculturas. Assim, pretende-se reduzir a complexidade do tecido urbano e converte as cidades em plataformas de

produção, reprodução e expansão do capitalismo, assim como todo morador urbano em simples consumidor (LEROY e ACSELRAD, 2000, p.196).

As formas de se tratar o espaço, atribuindo-lhe determinadas “vocações”, segundo critérios específicos, físicos sobretudo, empobrecem o conjunto de visões sobre um território, privilegiando uma visão apenas – a visão de que as vocações naturais estão a serviço do capital. Apesar da lógica clara nos processos de escolha das áreas segundo suas vocações para determinado fim produtivo, este procedimento exclui a evolução dialética histórica que existe entre os habitantes e o lugar, sendo, segundo estes autores, responsável pelo empobrecimento (LEROY e ACSELRAD, 2000, p.196).

Leroy e Acselrad atribuem à compreensão da complexidade dos territórios os méritos pela identificação de suas potencialidades, paralelamente à identificação de habilidades e experiências de atuação da sociedade local, acumuladas ao longo de sua história.

“Os problemas observados na ocupação do espaço, com conexão clara com modelos de desenvolvimento capitalistas simplificadoros, permitem identificar um ciclo que periodicamente valoriza a diferença e a complexidade, premiando aquelas idéias que, ao modificarem o que já é conhecido e saturado e inserirem novidade positivas, permitem sobrevida do sistema. Isto mostra que, por um lado o próprio sistema capitalista simplificador depende, em certo grau e num horizonte de tempo longo, da diversidade, e por outro lado, mostra que o mesmo sistema redutor é capaz de manter sob controle estas iniciativas alternativas, lançando mão das mesmas quando necessário” (LEROY; ACSELRAD, 2000).

Espaço é um conceito largamente empregado na geografia e também nas ciências ambientais. Outras áreas do conhecimento também fazem uso do termo para expressar-se sobre o objeto de trabalho. Cada uma querendo expressar algo, usando o termo para sintetizar idéias sobre determinado tema. Dadas as diferenças de compreensão sobre o que seria o espaço de cada um, torna-se necessário responder à pergunta: o que é espaço? Ou seja, o que se quer dizer quando se fala de espaço neste trabalho?

Santos apresenta um conceito bruto de espaço dizendo que “entende ser o meio, o lugar material da possibilidade dos eventos”. Associado a este conceito pouco lapidado, Santos coloca também os conceitos de tempo e mundo, dizendo que o primeiro “é o transcurso, a sucessão de eventos e sua trama”, enquanto o segundo é “a soma, que é também síntese, de eventos e lugares” (SANTOS, 1999, p.41). O conceito preferencial do autor,

contudo apresenta o espaço como sendo um “conjunto indissociável de sistemas de objetos e de sistemas de ações” (SANTOS, 1999).

O autor nos coloca, então, os lugares, os eventos e a soma de ambos – o mundo. O grande efeito desta organização é que dá movimento e dinamicidade às coisas. O espaço, nesta definição, não é estático, mas se mostra em eventos; o tempo não é um só, mas muda de um lugar para outro. O mundo é, portanto, uma dinâmica entre o tempo e o espaço, ou entre os lugares e os eventos.

Esta conceituação dialética deve também ser relacionada com a história, com a sociedade e com o indivíduo, já que ambos – tempo e espaço – somente existem ao longo da história, reconstituídos intelectualmente individual e coletivamente, de forma sistêmica.

Em qualquer momento, o ponto de partida é a sociedade humana realizando-se. Essa realização dá-se sobre uma base material: o espaço e seu uso, o tempo e seu uso; a materialidade e suas diversas formas, as ações e suas diversas feições. (SANTOS, 1999).

Para Lipietz, espaço é diferente para os geógrafos e para os economistas. Estes consideram que o espaço é o local onde se desenvolvem os fatos econômicos (LIPIETZ, 1988, p.17).

O espaço está intrinsecamente ligado à estrutura social. Segundo Lipietz, uma estrutura espacial concreta resulta da estrutura social. A relação provém das concepções do materialismo histórico, para o qual toda formação social é uma estrutura complexa de relações sociais, unidas ao nível das instâncias econômicas, político-jurídicas e ideológicas (LIPIETZ, 1988, p.22).

Ainda do materialismo histórico resulta uma relação entre o espaço e os modos de produção. Estes têm sua forma de reprodução modificada em “função do lugar que lhe reserva a reprodução do modo dominante na formação social (o capitalismo)”. A noção de espaço socioeconômico concreto resultante “pode ser analisada em termos de articulação das espacialidades próprias às relações definidas nas diferentes instâncias dos diferentes modos de produção presentes na formação social”. A espacialidade seria a dimensão espacial da forma de existência material. Esta existência se dá no espaço através

da relação entre o espaço e a estrutura ou relação social, sendo que, no espaço, se observa a “presença” ou “ausência” de determinadas coisas e, na relação social, se observa “participação” ou “exclusão”. Na visão de Lipietz, “a sociedade recria seu espaço sobre a base de um espaço concreto, sempre já dado, herdado do passado. E é assim que abordaremos a questão da organização do território” (LIPIETZ, 1988, p.25).

Mas o que ocorre no espaço? Que tipo de evento se desenvolve no espaço, constituindo o tempo? Respondendo a esta pergunta existe a noção de técnica, que seria “um traço-de-união, historicamente e epistemologicamente”. A técnica é uma criação das sociedades humanas sobre o espaço e sobre o tempo, e deve ser vista como sistemas de técnicas, ligados a uma época e a um determinado lugar.

É bem verdade que hoje os sistemas técnicos acompanham a globalização e difundem-se por todos os lados, não sendo mais considerados apenas locais. O fato da disseminação das técnicas pode ser considerado, inclusive, como uma estratégia da sociedade humana e, ao mesmo tempo, um grande gerador de problemas, especialmente ambientais e sociais, a exemplo da importação tecnológica pura e simples.

A história do ser humano é, durante milênios, a história dos momentos divergentes, a soma de acontecimentos dispersos, disparatados, desconexos. Já a história do ser humano nossa geração é aquela em que os momentos convergiram, o acontecer de qualquer lugar podendo ser imediatamente comunicado a qualquer outro (SANTOS, 1992).

Santos conclui que a configuração atual do espaço – tempo está ligada à existência de uma tríade composta por ciência, tecnologia e informação, que constitui a base técnica da vida social atual. Como resultado, o autor apresenta o conceito de meio técnico-científico, que, agregado ao fator informação, torna-se o meio técnico científico informacional (SANTOS, 1992).

Um dado de grande importância na definição do espaço é a participação da sociedade, conforme Souza, que pode defini-la como fruto das relações sociais: o trabalho, a territorialização e a atribuição de significados culturais (SOUZA, 2000).

Deste modo, o ser humano divide o território em partes, e alguns indivíduos estabelecem posse destas partes, nas quais implantam unidades produtivas (ou improdutivas). Existem relações específicas entre as características (dimensões, relevo, distâncias de mercados, pedologia) destas glebas e as resultantes do processo produtivo.

Segundo Lipietz,

[...] o modo de produção capitalista se caracteriza pela separação dos produtores de seus meios de produção e pelo caráter privado autônomo, da valorização dos diferentes segmentos do capital social. A lei do valor, que se realiza através da troca mercantil entre estes segmentos, assegura a auto-regulação do desenvolvimento dos diferentes ramos da produção (mesmo que seja através de crises) (LIPIETZ, 1988, p.34).

Os modos de produção se desenvolvem estreitamente ligados ao uso da terra. O modo de produção dominante capitalista se desenvolve historicamente através de uma sucessão de estágios nos diferentes ramos de atividade, os quais podem se superpor geograficamente ou excluir-se. Isto é materializado através da ocupação das terras, da forma como o mercado de emprego se estrutura, dentre outras. Cada estágio de sucessão do modo de produção capitalista tem uma certa forma de espacialização e, portanto, de uso das terras.

A pequena produção agrícola é de grande importância em função de seu nível de incidência. Nesta unidade, o trabalhador direto é proprietário e possuidor dos meios de produção, e a finalidade desta é a simples reprodução da unidade de exploração – a propriedade. Este modo de produção existe como a superposição de um espaço econômico, por um lado, e de um espaço jurídico parcelário, por outro, formando um mosaico de unidades de produção familiar, organizadas em torno das cidades mercados (LIPIETZ, 1988).

Síntese:

Neste item, buscou-se mostrar, basicamente, que o uso da terra é o resultado da ocupação do espaço pelas atividades do ser humano e pelo próprio sistema natural. No que diz respeito às ações do ser humano, o uso da terra pode ser relacionado ao desenvolvimento da técnica que permitiu o desenvolvimento dos instrumentos para a modificação do ambiente e para condicionar as mudanças no uso da terra.

### **2.3 Mudança de Uso da Terra, Interdisciplinaridade e Complexidade**

Este item busca trazer à tona algumas notas sobre as questões da complexidade e a discussão do uso da terra em um sistema complexo.

O uso da terra e sua mudança ao longo do tempo é um fenômeno que está no âmbito da relação do ser humano com a natureza e que faz parte da discussão sobre desenvolvimento e sustentabilidade. Por outro lado, o estudo do fenômeno da mudança no uso da terra remete para o estudo de sistemas complexos, pois que se lida com um sistema de muitas partes e com um intrincado número de relações.

O estudo do uso da terra se impõe como um problema complexo, repleto de variáveis e possibilidades e merece ser tratado como tal. É importante mostrar que mudanças no uso da terra são especialmente complexas e podem apontar para inúmeros cenários, tendo diferentes componentes e diferentes relações entre fatores determinantes destas mudanças.

Diversos pensadores se dedicaram a tratar a questão da complexidade e organizaram idéias em torno do tema. (PRIGOGINE e STENGERS, 1991; GUATTARI, 1992; FAURE, 1992 e MORIN, 1996).

Hoje não é possível reduzir e simplificar os processos, os fenômenos, as relações e as composições das coisas do universo de forma que possamos compreendê-los como variáveis de equações simples, dependentes de outras variáveis totalmente quantificáveis e predizíveis. Os fenômenos são mais complexos do que se imagina e não permitem que possam ser resolvidos pelo ser humano com modelos simplistas, reducionistas.

Por complexidade se quer expressar algo que não é facilmente explicável, algo que demanda uma elaboração maior do que aquelas que explicam os fenômenos simples. A complexidade existe naquilo que “produz um emaranhado de ações, de interações, de retroações” ou que tem em si a incerteza presente na natureza. A complexidade do universo se apresenta de duas formas: empírica e lógica. A questão empírica pode ser visualizada quando se dá conta da interferência de determinados fenômenos sobre outros e a decorrência existente entre eles. A questão lógica, por sua vez, diz respeito a

problemas decorrentes de um modelo lógico incapaz de explicar certos fenômenos ou mesmo de explicar modificações na evolução do pensamento científico (MORIN, 1996).

A complexidade pode ser observada quando confrontamos o modelo de pensamento que vem sendo utilizado para compreender a natureza. O ser humano tem tratado de separar em partes tudo o que deseja compreender. Procura uma forma de classificar todas as coisas divididas segundo critérios que permitam simplificá-las. Faz isso com tudo o quanto deseja analisar, dividindo em partes para, a partir daí, retirar idéias sobre sua composição, sua estrutura e seu funcionamento. Após compreender como funcionam as partes, o ser humano tenta compreender como funciona o todo.

Muitas vezes não é possível usar o método de dividir o todo em partes, ou o resultado dessa divisão não contribui em nada para a compreensão do todo - neste caso o todo é mais que a soma das partes. Por outro lado, freqüentemente, as partes contêm em si individualidade forte a tal ponto que passam a ter mais importância como parte do que como todo - neste caso o todo é menos que a soma das partes. Um exemplo disto pode ser a individualidade humana. Por quê? Porque é possível considerar a complexidade e a diversidade presentes em um indivíduo, seu espírito, sua alma, sua criatividade e outras formas de pensamento mais complexas.

Morin trata como complexos os organismos vivos e destaca algumas diferenças significativas entre estes e os organismos não-vivos. As máquinas naturais são diferentes das artificiais, entre outros aspectos em função da capacidade de auto-organização, conceituada como tendo regulações próprias, auto-reprodução e transformações históricas. A organização, contudo, não significa somente super-organização. Baixa organização é, muitas vezes, vantajosa. Organização é também simplicidade.

Quando se fala em complexidade, é importante tratar de ordem e desordem. A complexidade está ligada à compreensão de que o universo é, por vezes, dialético e que ambos os fenômenos - ordem e desordem - assumem papéis igualmente importantes na sua manutenção. Isto quer dizer que, ao contrário do que pode ser o mais lógico segundo nossa parca compreensão de mundo, a desordem é muito importante (ou mesmo tão importante quanto a ordem) para o universo e todos os processos que dele fazem parte.



Ordem e desordem estão, como diz Morin, em um constante diálogo na organização do universo.

Diversas ciências têm proposto novas formas de tratar a complexidade do universo, trazendo não o estudo de objetos, mas de sistemas dotados de algum tipo de organização, tais como o ecossistema ou a biosfera. Outro avanço conceitual, segundo Morin, seria a compreensão de que sistemas organizados formam um polissistema, ou seja, um conjunto de sistemas organizados (ou desorganizados). Como o autor diz “não só a parte está no todo, mas o todo está na parte” (MORIN, 1996).

Algumas modificações são necessárias ao pensamento para que este se torne complexo, ou seja, um pensamento da complexidade. Já que, no caso de estar-se observando o mundo de que se faz parte e do qual se é inseparável, precisa-se praticar a auto-observação ao observar o mundo. Precisam-se definir pontos de vista que funcionem como mirantes de observação, sabendo que é impossível observar o mundo de um ponto totalmente externo. Morin denomina estes pontos de metapontos de vista. Sob esta interpretação, não se é apenas sujeito e o mundo somente objeto do estudo, mas se é, ao mesmo tempo, sujeito e objeto de tudo que se estuda.

A partir de Kant, Filosofia e Ciência tomaram rumos opostos e pergunta se será novamente possível uma Filosofia da Natureza, uma Filosofia que permita pensar de maneira coerente à inserção do ser humano na natureza e às perspectivas sobre ela desimpedidas pela ciência. Esta oposição provoca destruição da cultura humana e deve dar lugar a uma ciência na qual a cultura é parte interessada: Filosofia e Ciência estudando “problemas” e “questões” conjuntamente (PRIGOGINE e STENGERS, 1991).

É importante deixar claro que o ser humano faz parte, então, desta complexidade do Universo. Todavia, até nossos dias, o ser humano no universo tem sido sempre estudado pelas disciplinas que se ocupam de sua análise como um ser biológico e não-biológico. A parte biológica é estudada pela Biologia, e a parte não-biológica, pelas Ciências Humanas – a compartimentalização também ocorre neste campo e os objetos de estudo destas ciências diversas também eram tidos como diversos. Para exemplificar ainda mais a complexidade do estudo do ser humano sob esta perspectiva, podem ser citadas mais

duas facetas que são: o ser humano como espécie-indivíduo e como espécie-sociedade. Morin classifica, por fim, o ser humano como sendo de natureza multidimensional e, para exemplificar esta multilateralidade do ser humano, apresenta o pensamento racional-empírico-técnico ao lado de um pensamento simbólico-mitológico-mágico.

Morin, por fim, sintetiza o que seria para ele o pensamento complexo, dizendo que é local e não-onisciente, sabe que não pode conhecer tudo no tempo e no espaço. Depois não é completo, sabe que há incertezas e que terá que conviver com estas incertezas (MORIN, 1996).

Já Enrique Leff, ao tratar da epistemologia do meio ambiente, apresenta alguns pontos de vista que vão além da noção de complexidade de Morin. Para Leff, a complexidade ambiental surge a partir de uma nova visão da complexidade, que nas palavras do autor seria “totalizante, paralizante e autodestrutiva” e toma a via da desnaturalização da história natural que culminou na tecnificação e economização do mundo, onde o ser e o pensar se encontram entrelaçados pelo cálculo e pela planificação, pela determinação e legalidade (LEFF, 2003).

Para tratar de uma “complexidade ambiental”, Leff inicia por dizer que a crise ecológica é, antes de tudo, um questionamento sobre o pensamento e o entendimento, a ontologia e a epistemologia, utilizados pela civilização ocidental para compreender o mundo. É também um questionamento da ciência e da razão tecnológica com as quais a natureza foi dominada e o mundo moderno economizado. Sustenta que catástrofes naturais ocorreram em diversas fases da evolução geológica do planeta e que a crise ecológica atual não é uma mudança natural, sendo, sim, uma transformação induzida pela concepção humana do mundo, através da forma como percebemos a realidade (LEFF, 2003, p.19).

A complexidade ambiental serial, segundo Leff, é uma nova forma de compreender o mundo, segundo a qual se reconhecem os limites do conhecimento e a incompletude do ser. Implica saber que a incerteza, o caos e o risco são, ao mesmo tempo, efeitos do conhecimento, que pretendia superá-los, e condição intrínseca dos mesmos (LEFF, 2003, p.22).

O modelo de conhecimento que vigorou absoluto até há pouco tempo e que ainda está comandando nossa ciência encontrou na divisão do conhecimento em disciplinas uma forma de compreender a natureza. Grandes avanços foram obtidos pela humanidade utilizando esta forma de organização do conhecimento. O modelo, contudo, parece ter esgotado suas forças na compreensão de determinados fenômenos e na busca de soluções para certos problemas da sociedade humana. Ao mesmo tempo em que se reconhecem todos os avanços obtidos, percebe-se a incapacidade de lidar com diversas questões, estejam estas presentes no plano biológico, social, político ou econômico.

Num momento em que as conexões entre as partes passam a ter tanto valor quanto as próprias partes e mesmo quanto ao todo, a comunicação entre as várias disciplinas do conhecimento parece ter grande valor. A interdisciplinaridade constitui uma forma de reação à fragmentação do conhecimento, a tentativa de uma visão do todo e das partes, nem só analítica nem somente sintética.

A interdisciplinaridade faz parte do conjunto de modificações que a humanidade vem experimentando e aparece como promissora na busca de novas formas de compreensão e de ação sobre nossos problemas – complexidade aí incluída. A interdisciplinaridade passa a ser uma necessidade em função, inclusive, da complexidade do universo e da quantidade de variáveis envolvidas nos problemas que se apresentam.

Guattari coloca a interdisciplinaridade não somente na esfera cognitiva, mas também fazendo parte das esferas social, política, ética e estética. A interdisciplinaridade (tendo a transdisciplinaridade e a pluridisciplinaridade como variações sobre o mesmo tema) passa, segundo o autor, pela redefinição da democracia nos diversos estágios do campo social (GUATTARI, 1992).

A ampliação da interdisciplinaridade deverá se dar em todas as áreas, cada vez mais integrando umas às outras, aproximando-as à medida que as problemáticas se aproximem. Uma série de questões deriva da discussão da interdisciplinaridade. Questões que lidarão com contradições como quando se prevê a necessidade de abandonar os padrões a que a sociedade está ligada, (macho, adulto, branco, competitivo) ao mesmo tempo em que a evolução na biotecnologia coloca a todos no caminho da padronização.

A ampliação da interdisciplinaridade tem algumas barreiras e algumas dificuldades. As barreiras são de caráter institucional e intelectual. Institucional, pois todas as instituições estão organizadas para trabalhar com a idéia da compartimentação do conhecimento e não com a interdisciplinaridade. Barreiras intelectuais são aquelas ligadas ao pensamento, quando este se sente seguro dentro de um limite definido pela disciplina e inseguro quando não sabe em que disciplina está trabalhando (FAURE, 1992).

Outro tipo de dificuldade intelectual é o preconceito que paira sobre as formas de investigação sintéticas – tudo que não é analítico não tem prestígio. Um terceiro problema intelectual da interdisciplinaridade seria a dificuldade de comunicação entre pesquisadores, os quais utilizam sistemas conceituais diferentes e, portanto, linguagens diferentes. As dificuldades da interdisciplinaridade seriam: as concepções antagônicas de interdisciplinaridade e que precisam ser unificadas; a mistificação pluridisciplinar que por si só não levará a uma integração desejada e a circularidade das abordagens lógico-discursivas.

Finalizando, é fundamental notar que o estudo de sistemas complexos através de métodos de trabalho interdisciplinares necessita de uma síntese integradora realizada com informações provenientes de três fontes: do objeto de estudo, do marco conceitual e dos estudos interdisciplinares. O objeto de estudos é o sistema complexo em si. O marco conceitual é a bagagem teórica de cuja perspectiva se identifica, seleciona e organizam os dados da realidade que se pretende estudar. Os estudos interdisciplinares são os recortes desta realidade complexa a partir de uma disciplina específica (GARCIA, 1994).

Síntese:

Neste item, buscou-se desenvolver a idéia de que o uso da terra e mais ainda as suas mudanças ao longo do tempo são uma questão que precisa ser tratada como complexa, pois que está ligada a um sistema composto por muitas partes e os processos ali desenrolados dependem de inúmeros fatores.

Desta forma, a questão do uso da terra deve ser tratada com o olhar interdisciplinar, estando ligado a uma diversidade de áreas do conhecimento, da mesma forma que a busca

por soluções de problemas ligados ao uso da terra necessita utilizar o ferramental adequado aos problemas complexos.

#### **2.4 Modelos dinâmicos como ferramenta de análise de mudanças no uso da terra, simulação e predição**

Nos itens anteriores, foram abordados alguns assuntos que fazem parte das discussões atuais em meio ambiente. Duas delas merecem atenção ao se iniciar a falar de modelos: a questão da sustentabilidade e questão da complexidade.

A modelagem, neste trabalho, é tratada como ferramenta para simulação de processos e como forma de permitir análises sobre o uso da terra. A idéia central deste tópico é esclarecer como os modelos podem auxiliar no estudo da relação complexa entre o uso da terra e sustentabilidade ambiental. Neste ponto, destaca-se a importância dos modelos dinâmicos, os quais têm sido apresentados como um instrumento que permite bem analisar sistemas complexos.

A elaboração de modelos conceituais e matemáticos tem sido utilizada como método de estudos para se compreender a questão do uso da terra e sua mudança ao longo do tempo. É importante ter claro, contudo, que modelos são simplificadores e reducionistas. No entanto, podem servir como uma importante ferramenta para o estudo do uso e da mudança no uso da terra, especialmente para conhecer como esta ocorre ao longo do tempo, quais os fatores envolvidos na determinação dos padrões de uso da terra, bem como o estudo de como e quando as mudanças no uso da terra ocorrem. Por fim, permitem a geração de cenários e simulações (BRIASSOULIS, 2000).

O uso de modelos torna-se, em um contexto de mudanças de paradigmas científicos e de novas perspectivas metodológicas, uma importante forma de se abordar o objeto de estudo. Briassoulis mostra como a partir da segunda guerra mundial, ocorreu grande interesse e desenvolvimento neste campo de estudos, com uma variedade de disciplinas trabalhando sobre diferentes escalas de abordagem. A partir das décadas de 50 e 60, ocorreram iniciativas baseadas na chamada “revolução quantitativa” que atingiu a geografia, a sociologia e o planejamento e que tentou formalizar modelos e teorias de uso

e mudança de uso da terra. Estas iniciativas foram abandonadas em seguida, assim que suas limitações e seus fundamentos epistemológicos ficaram evidentes. Mais tarde, estas iniciativas foram retomadas, quando as inovações nos campos da computação e do processamento de dados permitiram ampliar o tratamento do uso e das mudanças do uso da terra, aproximando a abordagem quantitativa da qualitativa e da heurística (BRIASSOULIS, 2000).

Por outro lado, existem outros pontos de vista relacionados ao uso de modelos, especialmente os quantitativos. Tais pontos de vista expressam a necessidade de uma avaliação criteriosa da validade da realização de estudos desta natureza, bem como cuidados na utilização das informações geradas por tais ferramentas, pois carecem de condições de representar a realidade e de gerar informações úteis, estando mais como um horizonte de desenvolvimento do que como uma opção operacional (GODARD e LEGAY, 2000).

Apesar dos problemas apontados acima, a utilização de modelos é uma técnica cujo valor tem sido resgatado após um período de pouca utilização. Neste sentido, podemos sinalizar os avanços trazidos pela informática como um fator importante, que contribuiu para este “aquecimento” no uso de modelos.

Deste modo, técnicas de modelagem têm sido associadas com a solução de problemas em diversos campos da ciência, dentre eles vários que trabalham com meio ambiente, como a conservação da natureza e a gestão ambiental. Os modelos também têm sido associados com problemas que envolvem sistemas complexos, naturais ou artificiais.

Em relação aos problemas de gestão ambiental e ao uso dos modelos, a modelagem constitui um procedimento que pode permitir uma integração mais fácil dos diversos atores envolvidos no processo de conhecimento de sistemas, que de outra forma seria realizado tendendo à monodisciplinaridade. A modelagem permite criar um “terreno” artificial de integração dos conhecimentos, onde se pode expressar e submeter à crítica os diversos pontos de vista sobre o perfil desejável de um sistema de gestão, bem como sobre as medidas correspondentes de ação ordenadora em contextos específicos. (BOUSQUET, 1999; BOUSQUET, ANTONA e WEBER, 2000, p.303).

A palavra modelo tem sua origem no latim *modellus*, que significa o diminutivo de *modus*, modo, maneira de ser de alguma coisa e que passou ao italiano *modello*, antes do português. Modelo, portanto, significa a forma, o exemplar, a cópia, o exemplo, o molde. Em dicionários modernos da língua portuguesa, modelo significa: (1) Objeto destinado a ser reproduzido por imitação. (2) Representação em pequena escala de algo que se pretende executar em grande; (3) Molde; (4) Pessoal ou coisa cuja imagem serve para ser reproduzida em pintura, escultura ou fotografia; (5) Aquilo que serve de exemplo; (6) Conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou o funcionamento de um sistema físico pelo qual se procuram explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema (FERREIRA, 1988).

Modelo, então, tem diversos significados, sendo empregada com finalidades também diversas. Apesar da especificidade deste trabalho que trata de modelos matemáticos computacionais, uma passagem sobre estes significados é sempre uma forma de ampliar o campo de visão e de esclarecer o significado específico de interesse.

Em primeiro lugar, trata-se de conceituar “modelo” para depois levantar aspectos destas ferramentas, principalmente no que diz respeito aos modelos de avaliação de uso da terra.

O conceito de modelo mais próximo da geografia é apresentado por Chorley e Haggett, no qual

“modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma idéia estruturada. Pode ser uma função, uma relação ou uma equação. Pode ser uma síntese de dados. Sendo mais importante do ponto de vista geográfico, a inclusão ainda de argumentos sobre o mundo real por meio de translações no espaço (para dar modelos espaciais) ou no tempo (para dar modelos históricos)” (CHORLEY e HAGGET, 1973, p.3).

Christofolletti, ao fazer uma leitura de diversos estudos, considera que um modelo é a representação da realidade sob uma forma material, ou seja, uma representação tangível, ou uma forma simbólica, ou seja, uma representação abstrata (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Briassoulis resgata alguns conceitos anteriores, mostrando que modelos são uma representação formal de alguma teoria de um sistema de interesse, ou que são abstrações e

aproximações da realidade a qual é alcançada através da simplificação das relações complexas do mundo real (BRIASSOULIS, 2000).

Briassoulis observa que, muitas vezes, o termo “teoria” quer significar o mesmo que modelo, tanto quando se está tratando de teorias no sentido de argumentos quanto de modelos matemáticos (BRIASSOULIS, 2000).

Ao se elaborar modelos, existe uma tentativa implícita de simplificar a realidade e torná-la mais compreensível – tenta-se simplificar uma realidade complexa. A simplificação, porém, exige criatividade, tanto sensorial quanto intelectual (CHORLEY e HAGGET, 1973, p.3).

Para simplificar um sistema complexo, é preciso vê-lo sob certa escala, a escala que mais interessa ao observador, deixando de lado certos detalhes microscópicos. O sistema é estudado com certos fins e tudo que não afete estes fins é descartado (CHORLEY e HAGGET, 1973, p.4).

Um modelo é, assim, uma estruturação simplificada da realidade que apresenta, supostamente, características ou relações sob a forma generalizada. São aproximações altamente subjetivas no sentido de não incluírem todas as observações e medições associadas, mas reside aí, justamente, seu valor – em ocultar detalhes secundários e permitir o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade. Isto quer dizer que o que pode originar falhas nos modelos, em certos momentos, também é uma de suas grandes vantagens – a simplificação (CHORLEY e HAGGET, 1973, p.3).

Um modelo, porém, não representa a realidade em si, mas sim a visão que temos da realidade, bem como a maneira que percebemos e compreendemos esta realidade. Desta maneira, pode-se dizer que o modelo representa um ou alguns aspectos da realidade, compreendidos segundo as nossas possibilidades de perceber, através dos sentidos ou através de equipamentos, alguma parte do mundo real (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Dentre as características dos modelos, conforme Chorley e Haggett, é importante destacar as seguintes: seletividade, estruturação, sugestividade e especulação, analogia e replicabilidade (CHORLEY e HAGGET, 1973).



Seletividade: os modelos permitem selecionar as informações de interesse sobre certo fenômeno ou sistema.

Estruturação: os modelos permitem conhecer a estrutura de um fenômeno ou sistema, inclusive as relações entre os aspectos selecionados.

Sugestividade e Especulação: os modelos sugerem, por sua própria extensão e generalização, especulações e previsões. A característica especulativa dos modelos é de grande interesse à ciência, dado que permite avaliar toda sorte de possibilidades a respeito do assunto estudado. Assim, muitas vezes, o modelo sugere, mais do que respostas, questões novas e caminhos a seguir para respondê-las. Segundo Toulmin (1953) citado por Chorley e Hagget, um modelo é fértil do ponto de vista experimental se sugere outras perguntas, levando o cientista para além do fenômeno que iniciou a pesquisa, sugerindo outras perguntas e desafiando-o a formular novas hipóteses (CHORLEY e HAGGET, 1973).

Analogia: os modelos permitem propor e avaliar analogias dos fenômenos e sistemas, permitindo tirar conclusões que, por sua vez, possam ser reaplicadas ao mundo real.

Reaplicabilidade: a aplicação de modelos para os fins ligados às ciências empíricas, deve permitir saber com que grau de qualidade eles representam o fenômeno ou sistema em estudo. Desta forma, garante-se parcialmente sua reaplicação.

Em relação às suas funções, os modelos, em primeiro lugar, são uma ponte entre os diversos níveis de observação e o nível teórico. A função psicológica dos modelos permite que um certo grupo de fenômenos possa ser visualizado e compreendido, o que de outra forma não o seria, justamente devido à sua complexidade e magnitude (CHORLEY e HAGGET, 1973, p.6).

Dentre as demais funções citadas por Chorley e Hagget, podemos elencar mais algumas: a função aquisitiva, segundo a qual o modelo permite reunir as informações sobre os fenômenos; a função organizacional, que permite ordenar os dados e fazer a informação; a função lógica, auxiliando na compreensão de como determinado fenômeno ocorre; a função normativa, permitindo a comparação entre fenômenos; e, por último, a função

sistemática, permitindo uma análise de sistemas interligados. Existem inúmeras possibilidades na classificação tipológica de modelos em função dos objetivos para os quais são criados, do método empregado, da abordagem ou não do tempo no modelo e assim por diante. Chorley e Hagget apresentam os modelos classificados em:

- ? finalidades: descritivos ou normativos;
- ? dinamicidade: estáticos ou dinâmicos;
- ? organização de informações: dados, classificatórios ou experimentais;
- ? constituição: físicos ou experimentais, em primeiro lugar, e teóricos, simbólicos e conceituais;
- ? grau de probabilidade associado à previsão (para os modelos matemáticos): determinísticos ou estocásticos (CHORLEY e HAGGET, 1973).

Christofolletti divide os modelos usados em geografia física, em seis grandes tipos, conforme, principalmente, a área do conhecimento em que são aplicados: geomorfologia, preditivos, hidrologia, simulação em hidrologia, climatologia e sistemas de informação geográfica (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

Ainda para Christofolletti, os modelos em geomorfologia são divididos em três subtipos: modelos análogos naturais, modelos abstratos e modelos de sistemas. Os primeiros são utilizados para esclarecer fenômenos ou sistemas através de uma representação analógica simplificada. Os análogos naturais históricos são, por exemplo, os modelos de geomorfologia e têm no tempo uma característica fundamental. Os análogos naturais espaciais são, por exemplo, os modelos de paisagem e têm na distribuição espacial dos elementos o seu fundamento (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

O segundo subtipo, o dos análogos abstratos, faz uma dissecação abstrata do objeto de estudo, tentando compreender suas partes componentes e sua estrutura, bem como entender o funcionamento dessas partes, suas interações. Estes modelos abstratos são divididos em outros subtipos: modelos experimentais e modelos matemáticos, os quais, por sua vez, podem ser determinísticos, probabilísticos e de desenho experimental.

O terceiro subtipo dos modelos em geomorfologia são os modelos de sistemas, os quais procuram conhecer as partes componentes do sistema, suas interações, bem como as suas entradas e saídas. Estes modelos tentam compreender o sistema como um todo e não são focados nas partes componentes apenas, mas na totalidade do objeto de estudo.

Os subtipos de modelos em hidrologia, segundo Christofolletti, podem ser classificados segundo quatro critérios: classificação baseada em processos, classificação baseada em escalas temporais, classificação baseada em escalas espaciais e classificação baseada em processos de resolução dos modelos. Quanto à classificação dos subtipos em simulação hidrológica, existem pelo menos nove outros subtipos que não serão aqui tratados. Estes tipos são relacionados com técnicas computacionais, técnicas para análise de sistemas em recursos hídricos superficiais e subterrâneos, por exemplo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A tipologia dos modelos em climatologia divide-os em três subtipos. Em primeiro lugar, os modelos de circulação geral, que incorporam a física do clima através de conceitos matemáticos, derivados dos modelos de previsão climática. Em segundo lugar, os modelos de impactos climáticos, os quais estudam os impactos do clima sobre o ambiente de uma forma geral e também sobre a socioeconomia. Têm base empírica, através de séries temporais de dados climáticos. Por último, os modelos integrados de avaliação, os quais trabalham com a avaliação de processos climáticos integrados aos aspectos sociais, econômicos e políticos, além dos físicos e biológicos, buscando respostas, principalmente, para as mudanças climáticas.

Por último, Christofolletti apresenta a tipologia dos modelos de sistemas de informação geográfica, ou seja, aqueles que permitem tratar a informação do ponto de vista espacial e temporal dentro de um sistema computacional através da criação simbólica, os quais permitem tanto a construção estrutural (de estrutura do objeto de estudo) quanto a relacional (das relações do objeto de estudo com o ambiente ou com outros objetos). Neste tipo de modelo, o autor divide dois novos subtipos: os modelos cartográficos, que consistem no uso de cartogramas digitais analisados através de ferramentas automáticas no ambiente do SIG e os modelos espaciais, que consistem no uso de expressões de relações matemáticas entre as variáveis no ambiente espaço-temporal do SIG (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos são formados por, pelo menos, três partes: variáveis, relacionamentos e processos e, conforme a ênfase em cada uma das partes, os modelos podem ser classificados em empíricos ou de sistemas. Quando o modelo focaliza os relacionamentos entre as variáveis, ele é empírico. Por outro lado, se o modelo emprega normalmente descrições matemáticas de processos complexos avaliando a interação entre as partes componentes, trata-se de um modelo de sistemas (LAMBIN, 1994, citado em (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

Segundo Câmara e Pedrosa, os modelos empíricos podem ser determinísticos quando empregam equações diferenciais com pelo menos um termo derivado no tempo ou podem ser estocásticos (probabilísticos), quando empregam variáveis aleatórias para explicar o sistema. Exemplos de modelos empíricos são as “cadeias de markov”, os “modelos logísticos de difusão” e os “modelos de regressão”. (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

Os modelos espaciais têm como característica a ser destacada a facilidade com que são utilizados na descrição da dimensão espacial, bem como o fato de tentarem abordar o sistema como um todo, em todos os seus componentes. Exemplos de modelos sistêmicos são os “modelos de simulação de ecossistemas” e os “modelos de simulação dinâmica espacial”.

Os modelos espaciais dinâmicos são utilizados principalmente para modelagem espaço-temporal de processos, especialmente os físicos e os de planejamento urbano e, por extensão, o planejamento em outras esferas.

Normalmente, modelos espaciais estão associados, de alguma forma, a SIGs, seja porque fazem uso de mapas que estão em SIGs, seja porque são construídos no ambiente do SIG.

Sistema de Informação Geográfica (SIG) “é um conjunto integrado de programas especificamente elaborados para serem utilizados com dados geográficos, executando espectro abrangente de tarefas no manuseio de dados. Essas tarefas incluem a entrada, o armazenamento, a recuperação e os produtos resultantes do manejo de dados, em adição

à ampla variedade de processos descritivos e analíticos” (CALKINS e TOMLINSON, 1977, citado em PEDROSA e CÂMARA, 2003).

O SIG serve aos modelos porque permite o processamento de dados, a elaboração de mapas relacionados com as variáveis de entrada ou com os resultados na saída e, ainda, na própria elaboração do modelo. Os SIGs também têm, atualmente, interfaces com bancos de dados, o que permite o manejo de grandes quantidades de informações, seja em mapas ou em tabelas de dados, assim como a aplicação de diversos procedimentos a esses dados, tais como a aplicação de algoritmos, a interpolação, a espacialização, a geração de mapas numéricos, os zoneamentos, a análise de redes (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos baseados em SIGs normalmente têm uma visão estática, bidimensional do mundo. Os modelos dinâmicos, contudo, tendem a ampliar esta visão realizando simulações numéricas de processos dependentes do tempo (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

A modelagem de processos dinâmicos em SIGs pressupõe que o sistema seja capaz de representar (PEDROSA e CÂMARA, 2003):

- ? o espaço como uma entidade não-homogênea tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura;
- ? as vizinhanças como relações não-estacionárias;
- ? as regras de transição como regras não-universais;
- ? a variação do tempo como um processo regular ou irregular;
- ? o sistema como um ambiente aberto a influências externas.

A implementação de tal modelo segue alguns princípios básicos. Em primeiro lugar, a questão da representação do espaço e do tempo. Em seguida, o modelo propriamente dito para representação do fenômeno espacial e, por fim, a abordagem computacional para implementação destes princípios de forma integrada e consistente (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

Modelos dinâmicos de uso da terra diferem, principalmente, quanto à escala, pois metodologicamente estão bastante próximos tanto em termos de tipos de dados de entrada e tipo de processamento necessário quanto em termos de abordagem computacional utilizada.

Os modelos de mudança de uso da terra são um importante grupo de modelos que podem servir, basicamente, a dois propósitos: suporte à tomada de decisão e como veículos de explicação.

A mudança de uso da terra é o resultado de uma cadeia complexa de interações entre forças biofísicas e socioeconômicas ao longo do espaço e do tempo. O estudo do uso da terra e de suas mudanças ao longo do tempo envolve, portanto, trabalhar com a complexidade e, normalmente depende de uma visão interdisciplinar. O estudo desta complexidade observada no uso da terra e em suas mudanças envolve, contudo, um certo grau de simplificação.

Conhecer a dinâmica das mudanças no uso da terra é de fundamental importância para uma série de questões práticas, mas seu uso é praticamente impossível sem uma simplificação das relações complexas até dimensões compreensíveis e manuseáveis. Daí a necessidade de modelos (BRIASSOULIS, 2000).

Cabe então o controle do processo de modelagem e o uso adequado dos resultados do modelo, passíveis de uma análise novamente complexificante – o uso dos resultados simplificantes na tentativa de reconstruir a realidade complexa.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos modelos de uso da terra existentes, bem como mostra algumas características dos mesmos.

Tabela 1 – Classificação dos modelos de uso da terra. Fonte: modificado de BRIASSOULIS, 2000)

<b>Categoria</b>	<b>Modelos</b>
Modelos estatísticos e econométricos	? Modelos de regressão linear ? Modelos econométricos (empíricos) ? Modelos logit multinomial
Modelos de interação espacial	? Modelos potenciais ? Modelos de oportunidades intervenientes ? Modelos de interação gravitação/espacial
Modelos de otimização	? Modelos de programação linear (uni e multiobjetivo) ? Programação dinâmica ? Programação de metas, programação hierárquica, Programação não linear, Programação Quadrática e linear ? Modelos de maximização da utilidade ? Modelos de Tomada de decisão multicritério e multiobjetivo
Modelos integrados	? Modelos integrados econométricos ? Modelos integrados baseados em interação gravitação/espacial e modelos Lowry ? Modelos integrados de simulação ? Modelos de simulação no nível urbano e metropolitano ? Modelos de simulação no nível regional <sup>1</sup> ? Modelos de simulação no nível global ? Modelos integrados baseados em entrada e saída
Modelos de outras abordagens	? Modelos de abordagens orientados a ciências naturais ? Modelagem markoviana de uso da terra ? Modelagem de uso da terra baseada em SIG

---

<sup>1</sup> O modelo utilizado neste trabalho pode ser inserido nesta categoria.

Briassoulis referencia uma extensa lista de exemplos de modelos de uso da terra. Destes, citamos os modelos mais próximos daquele a ser utilizado no estudo de caso a seguir, classificado como modelo integrado no nível regional de abordagem. A Tabela 2 apresenta uma lista de modelos representativos da classe “modelos integrados”.



Tabela 2 – Exemplos de modelos do tipo Integrado. Fonte: BRIASSOULIS, 2000.

Classificação dos modelos integrados		Exemplos de modelos <sup>2</sup>			
Modelos integrados econométricos		Penn-Jersey (Seidman, 1969; Wilson, 1974)			
Modelos integrados baseados em interação gravitação/espacial e modelos Lowry		Modelo Lowry, 1964 e versões mais recentes, 1966			
		TOMM (Crecine, 1964 e 1968)			
		PLUM (Goldner et al. 1971)			
		Modelo de Estoques e Atividades Urbanas (Echenique et al. 1969)			
		Modelo de Alocação de Atividades e Estoques Atividades (Batty, 1976)			
Modelos integrados de simulação	Modelos de simulação no nível urbano e metropolitano	São Francisco CRP (Rothenberg-Pack 1978)			
		Modelos de Simulação Urbana UI, NBER, HUDS (Kain, 1986)			
		CUFM (Landis 1994, 1995)			
		Modelos de Simulação Dinâmica	Modelo Dortmund (Wegener, 1982)		
			Modelos Integrados de Transporte e Uso da Terra	ITLUP (Putman, 1983, 1991	
				TRANUS (de la Barra, 1989)	
	CATLAS (Anas, 1982, 1983)				
	Modelos de simulação no nível regional	CLUE-CR (Veldkamp e Fresco, 1996)			
		Autômatos Celulares (White e Engelen, 1994, Engelen et al. 1995)			
		LUC (Fischer et al. 1996a)			
		IMPEL (Rousenvell, 1999)			
	Modelos de simulação no nível global	IFS (Liverman, 1989)			
		IMAGE 2.0 (Alcamo, 1994)			
Modelos integrados baseados em entrada e saída	Modelos Compactos de entrada e saída	Modelo Mundial UM (Leontief, 1977)			
		Modelos Econômicos-ecológicos (Daly, 1968, Isard, 1972, Victor, 1972)			
	Modelos Modulares com um componente de entrada e saída	Modelo PDE para Ilhas Maurício (Lutz, 1994a)			

<sup>2</sup> Lista de referências bibliográficas da Tabela 2 em anexo no final do trabalho.

Os modelos integrados podem, na sua maioria, receber o atributo de modelos de simulação, desde que simulação seja a atividade de modelar que busca analisar impactos ou fazer previsões condicionais quanto a alguma forma de expressão operacional do componente de um sistema e de suas inter-relações (BRIASSOULIS, 2000).

Simulação pode ser definida como as técnicas que envolvem um conjunto de regras, as quais permitem a operação de um conjunto de números, geralmente em ambiente de computador, sendo que as regras e as conseqüências da sua aplicação não podem ser escritas como um conjunto de equações algébricas (WILSON, 1974, citado em BRIASSOULIS, 2000).

A divisão dos modelos de simulação utilizando o critério da escala pode implicar certa confusão, dado que este critério não é totalmente objetivo e sendo que o termo “regional” pode representar espaços com grandezas diversas. Os modelos de simulação em escala regional diferem dos modelos em escala urbana em função de: a) a inclusão de classes que não existiam na área urbana, tais como a agricultura; b) outros fatores determinantes do uso da terra passam a ter maior importância, como é o caso do clima e da geomorfologia; c) a complexidade do sistema a ser modelado aumenta assim como aumentam o número de entidades interagindo e suas variações; e d) outros padrões de estrutura espacial e mudanças são visíveis e são, por sua natureza de textura mais grosseira e menos detalhada (BRIASSOULIS, 2000).

Os modelos de autômatos celulares foram desenvolvidos a partir dos trabalhos de John Conway, que, em 1982, criou um modelo chamado “jogo da vida” (The Game of Life), demonstrando que regras muito simples, quando aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios, produzem resultados semelhantes à forma como certos sistemas evoluem no mundo real. Este jogo se realiza em um ambiente representado sobre uma grade de células (uma matriz bidimensional). Neste ambiente, as células podem estar vivas ou mortas e podem transitar de um estado a outro. Dado um estado inicial aleatório, a cada geração, novas células nascem e algumas outras morrem. Algumas regras fazem com que as células mudem de estado, passando de vivas para mortas e vice-versa. As regras recaem sobre a vizinhança de cada uma das células fazendo, por exemplo, que uma célula viva

morra caso haja três ou mais células mortas na sua vizinhança (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

John Von Newmann utilizou estes conceitos e apresentou as bases para os modelos de autômatos celulares (ROY, 1996, citado em PEDROSA e CÂMARA, 2003), os quais têm sido aplicados ao mais diversos fins, permitindo a modelagem de processos gasosos e fluídos, sempre tratando de ambientes celulares em duas ou mais dimensões, os quais estão sujeitos a alguns estados discretos possíveis e a um conjunto de regras que controla a alteração destes estados. Tais regras podem ser qualitativas ou quantitativas.

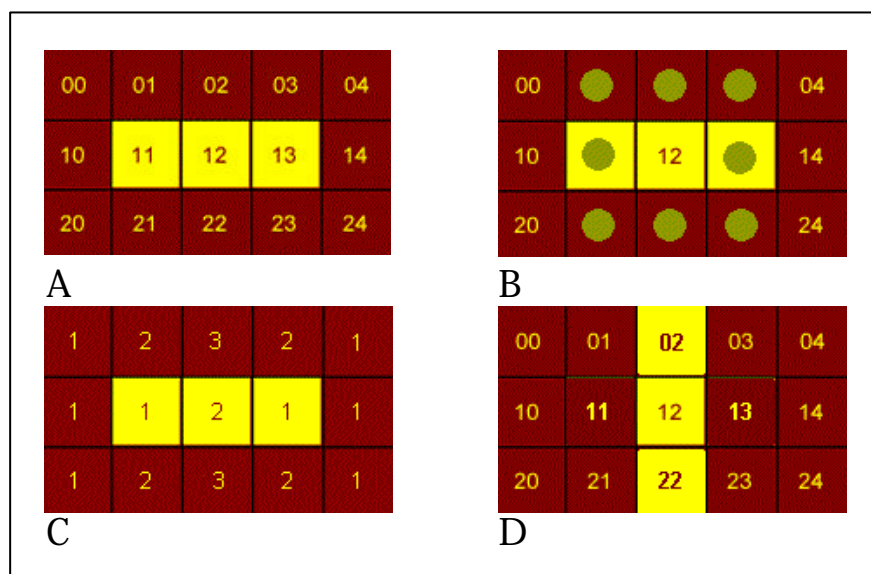
Para uma compreensão do funcionamento dos modelos de autômatos celulares, é apresentado, a seguir, um exemplo do jogo da vida. Neste exemplo, o universo é um retângulo de cinco x três células, numeradas de 00 a 04 na horizontal e 00 a 20 na vertical, sendo que as células ativas são coloridas de amarelo (Figura 2 – A).

No jogo da vida, qualquer célula que apresente adjacência por aresta (vizinhança de Von Newmann) ou vértice e aresta (vizinhança de Moore) é considerada vizinhança, mesmo as diagonais. O gráfico apresentado na Figura 2 – B mostra a vizinhança para a célula 12, que, no caso, apresenta, dentre as oito vizinhas, duas que são células ativas.

As três regras do jogo da vida são simples:

- 1 – uma célula inativa rodeada por três células ativas, torna-se ativa (ela “nasce”);
- 2 – uma célula ativa rodeada por duas ou três células ativas permanece ativa (“viva”);
- 3 – em qualquer outro caso, a célula se tornará inativa (“morrerá”).

A primeira geração de células é a Figura 2 – A. Depois de decorrido um tempo, é possível analisar o jogo observando a segunda geração de células.



A – primeira geração. B – vizinhança para a células 12. C – Número de células vizinhas “vivas”. D – segunda geração.

Figura 1 – Exemplo de um modelo dinâmico – Jogo da Vida. Fonte: SCHATTEN, 2003.

Na Figura 2 – C, os valores dentro das células indicam o número de vizinhas ativas (“vivas”). A segunda geração pode ser observada na Figura 2 – D e, nela, as células 00, 04, 10, 14, 20 e 24, no ambiente inicial, tinham uma vizinha ativa e permaneceram inativas na segunda geração; as células 01, 03, 21 e 23 tiveram duas vizinhas ativas e, portanto, não mudaram de estado; as duas células inativas restantes (02 e 22) tiveram três vizinhas ativas, o que, pela primeira regra, torna-as ativas (“nascem”); as células 11 e 13 tiveram apenas uma vizinha ativa: elas “morrem”; finalmente a célula 12, tendo duas vizinhas ativas, permanece ativa. Para a próxima geração (segunda), portanto, somente as células 02, 12 e 22 estarão ativas, conforme mostra a Figura 2 – D.

O funcionamento do modelo celular permite, então, produzir cenários para responder à pergunta: o que irá ocorrer com determinada célula do território após um intervalo de tempo, considerando-se um conjunto de regras? Tal conjunto de regras é definido teórica e empiricamente considerando-se os fatores de mudança de uso da terra.

Apesar da simplicidade na construção e na estrutura, o funcionamento dos modelos celulares bem como seu comportamento são significativamente mais complicados. A análise dos resultados gerados pelos modelos celulares exige certo grau de trabalho e atenção. A complexidade presente nos modelos celulares pode ser observada de diversas formas, inclusive nos diferentes padrões alcançados pelos modelos espaciais em um mesmo modelo cujas regras iniciais foram modificadas minimamente. Neste caso, os caminhos escolhidos pelo modelo são distintos em função destas condições iniciais, e assim, os resultados são diferentes. A Figura 3 apresenta exemplos de dois padrões que apesar de iniciarem com condições idênticas, evoluem diferenciadamente.

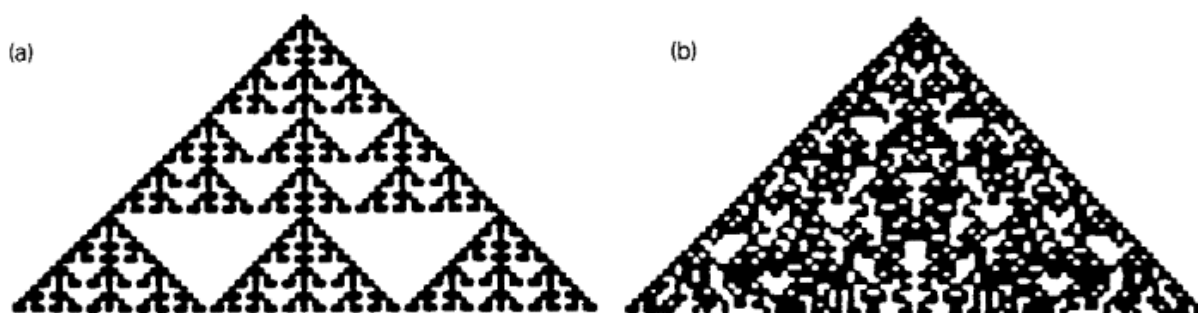


Figura 2 – Exemplos de resultados de um modelo dinâmico. No mesmo modelo as regras diferentes produzem resultados diferentes em (a) e (b). Fonte: WOLFRAM, 1988.

Quanto à utilização de modelos como ferramenta na busca do conhecimento científico, Christofletti observa que: “[...] a modelagem [de sistemas ambientais] insere-se como procedimento metodológico hipotético dedutivo, pois expressa configurações elaboradas em decorrência de hipóteses ou de explicações. Os modelos são direcionados mais para a categoria, e a inserção de valores específicos sobre as variáveis dos elementos e suas relações descrevem as características e comportamento de um caso particular e seu ajuste na classe referenciada pelo modelo. O processo da modelagem é constituído por um conjunto de regras semi-formais que guiam o interessado visando à solução de um problema: a construção do modelo. Tais regras não são mecânicas nem instruções computacionais, cujo encaminhamento passo-a-passo venha a ser garantia de se chegar ao resultado final e representar êxito e sucesso no modelo”. (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos têm se mostrado bastante aptos a trabalhar com questões pluridisciplinares, onde se insere a grande maioria das questões ambientais. A pluridisciplinaridade e os modelos são discutidos por Godard e Legay, 1992, sendo que estes consideram bastante improvável a construção de um modelo totalmente integrador que consiga abarcar todas as questões envolvidas em uma questão complexa de meio ambiente. Os autores, contudo, consideram modelos de grande valia, especialmente nas fases de construção conceitual do modelo e nas fases de decomposição do sistema, permitindo uma comunicação apurada entre as disciplinas envolvidas. Para eles, a modelagem se constitui em um importante instrumento de comunicação (GODARD e LEGAY, 2000).

A predição, ou seja, a capacidade de um modelo de antever o objeto de estudo ao longo de um período de tempo é uma das funções dos modelos. Para tal função atingir certo grau de qualidade, dois pressupostos são colocados: a correspondência entre o modelo e o objeto de estudo e a estabilidade suficiente do objeto de estudo. Explicando melhor, a correspondência entre objeto e modelo é uma questão de fidelidade do modelo ao representar a realidade que é o objeto. Esta fidelidade pode ser fundamentada em teorias ou empiricamente. Quanto ao segundo pressuposto, a estabilidade relativa do objeto de estudo é necessária para permitir a apreensão desta realidade que é o objeto de estudo, permitindo informar sobre seu comportamento ao longo do tempo (GODARD e LEGAY, 2000). Entretanto, é importante salientar que, se a predição de sistemas é normalmente considerada um procedimento difícil, a predição em sistemas complexos, cujo estudo associa normalmente as ciências sociais com as ciências naturais, acumula mais dificuldades ainda.

Percebe-se, então, que apesar da modelagem se constituir em um importante método para se conhecer um determinado objeto de estudo, alguns fenômenos limitantes permanecem. Christofolletti diz que “embora amplamente usados e mencionados, os modelos estão longe de se constituir em panacéia universal e devem ser usados considerando as suas limitações, procurando-se discernir as maneiras mais adequadas para superá-las. Talvez o maior problema com os modelos seja a avaliação da sua acuidade ou ajuste das suas previsões. Um segundo problema está relacionado com o estabelecimento de valores aos

parâmetros do modelo e identificá-los com os parâmetros fisicamente mensuráveis no mundo real...” (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Problema maior ainda parece ser, exatamente, as limitações impostas pela complexidade para o bom aproveitamento dos modelos no estudo de certas questões. Este problema é de grande importância para o emprego dos modelos, sendo prévio aos outros dois problemas elencados acima, visto que é mais geral.

O uso de modelos no estudo de sistemas complexos tem sido estudado de forma intensa, dadas as características destes modelos que os tornam aptos a representar sistemas com certo grau de complexidade.

Wolfram observa que “autômatos celulares podem não somente ser simulados pelos computadores: eles próprios podem também ser considerados como computadores, processando a informação correspondente às suas configurações. O estado inicial para um autômato celular é uma seqüência de dígitos, ou seja, zeros e uns, assim como em um computador... ...Se um autômato celular pode agir como um computador, então eles, em certo sentido, são capazes de comportamentos complicados. Se sua estrutura é simples, seu comportamento pode ser complexo como qualquer sistema (WOLFRAM, 1988).

Assim, os modelos autômatos celulares parecem apresentar características tais que os permitem representar sistemas complexos e modelar os processos e o funcionamento destes sistemas, assim como realizar previsões sobre os mesmos.

Segundo Wolfram, qualquer procedimento de previsão do comportamento de um sistema pode ser considerado como um algoritmo a ser executado em um computador. Para esta previsão ser efetiva ela necessita criar um atalho na evolução do sistema e para isto a computação propriamente dita deve ser mais sofisticada do que o sistema é capaz de ser.

Porém, se o sistema age, ele mesmo, como um computador universal, então isto se torna impossível. O comportamento do sistema pode desta forma, somente ser simulado por uma “simulação explícita”, sem atalhos. Neste caso o sistema deve ser considerado como “computacionalmente irreduzível” (WOLFRAM, 1988).

Diversos fenômenos naturais apresentam características que os remetem para o conceito de computacionalmente irreduzíveis, de Wolfram, notadamente os fenômenos naturais da biologia, mas também os físicos. Isto remete a uma série de dificuldades para a modelagem destes fenômenos, as quais estão sendo trabalhadas no âmbito da pesquisa em sistemas complexos na busca de alcançar melhorias e torná-los uma ferramenta menos sujeita a erros.

Os modelos dinâmicos tem sido utilizados de diversas maneiras para estudar o uso da terra e suas mudanças. Dentre os autores lidos que tratam do uso de modelos em análises de uso da terra temos: ALBERSEN; FISCHER; KEYZER; SUN (2000); VERBURG et al (2002); ANDERSON (1978); DEADMAN, BROWN e GIMBLETT (1993); ECKART (1998); FISCHER, ERMOLIEV, KEYSER, ROSENZWEIG (1996); FISCHER, MAKOWSKI, ANTOINE (1996); FOHRER, MÖLLER, STEINER (2001); FULONG (2002); LAY (2000); O'SULLIVAN, TORRENS (2000); SCHMIDT-LAINÉ, PAVÉ(2002); SCHOTTEN (2001); VAN MINNEN, FISCHER, STOLBOVOI (1996); TORRENS (2000).

#### Síntese:

Neste item tentou-se mostrar que os modelos são um desenvolvimento da técnica para tratar de recriar uma realidade e como forma de estudá-la e promover sua gestão. Os modelos se apresentam em uma grande diversidade de conceitos, técnicas e aplicações, sendo que os modelos dinâmicos, especialmente os celulares, se mostram mais adequados a tratar de problemas complexos como é o caso do uso da terra e suas mudanças ao longo do tempo.

O uso de modelos ganhou força novamente com o advento da informática, a qual trouxe soluções para uma série de dificuldades na implementação dos algoritmos de execução dos modelos.



Outro avanço que permitiu aos modelos melhor tratar os problemas que envolvem a distribuição espacial dos fenômenos foi o desenvolvimento do geoprocessamento, área do conhecimento que trata do uso conjunto dos conceitos da geografia e da informática.

### *3 Caracterização da área de estudos e procedimentos metodológicos*

Para a avaliação da problemática, bem como para a tentativa de responder às perguntas de pesquisa propostas, foi realizado um estudo do caso da bacia do Itajaí quanto ao uso da terra. Neste estudo, foram desenvolvidos diversos procedimentos metodológicos visando atingir os objetivos determinados, procedimentos estes detalhados a seguir.

Basicamente, estudou-se o uso da terra no período entre 1986 e 2000, através de técnicas de sensoriamento remoto. Posteriormente, utilizando métodos estatísticos probabilísticos implementados em um ambiente de sistema de informações geográficas, buscou-se avaliar a associação entre as modificações no uso da terra e certas variáveis físico-naturais e socioeconômicas. Por fim, tentou-se implementar um modelo matemático para melhorar a análise das causas de transições no uso da terra e para elaborar cenários futuros a partir de simulações.

Uma das características mais importantes do estudo desenvolvido, foi a utilização de um modelo matemático computacional do tipo celular, operacionalizado sobre o sistema “Dinâmica”. A opção pelo estudo do caso da bacia do Itajaí através da utilização de modelagem, quando anteriormente neste trabalho, já se discutiu as dificuldades de se modelar sistemas complexos, é devida basicamente a dois fatores. Em primeiro lugar, o uso dos modelos chamados dinâmicos para o estudo de sistemas complexos está em desenvolvimento e grandes progressos tem sido realizados, o que remete tanto para a necessidade de novos estudos, quanto para a possibilidade de se alcançar resultados positivos com os modelos já existentes. Em segundo lugar, não existem alternativas fáceis quando se trata de gerar cenários detalhados ao longo do espaço, como é a proposta deste estudo. Assim, optou-se por levar adiante o estudo tentando controlar ao máximo as dificuldades apresentadas pelo processo de modelagem.

A seleção das variáveis para o estudo foi realizada dentre um grupo maior de variáveis possíveis. Outras variáveis, portanto foram consideradas para o estudo, tais como legislação ambiental, políticas públicas, mercado agrícola. Contudo, algumas variáveis tornariam o estudo de difícil realização, dadas as dificuldades para a obtenção de dados sobre estas variáveis para a área de estudo, no período considerado.

O ser humano se relaciona dialeticamente com o meio natural, pois é parte do sistema no qual estão natureza e sociedade. O uso da terra é uma espécie de “indicador” do relacionamento do ser humano com o meio, e de mudanças no uso da terra, da evolução deste relacionamento ao longo do tempo. Cada forma de uso da terra resulta em consequências sobre o sistema ambiental, social e econômico.

A bacia hidrográfica do Itajaí é uma região definida hidrologicamente com aproximados 15000 quilômetros quadrados. Incluídos nesta região, encontram-se 49 municípios. A região apresenta desenvolvimento baseado em uma matriz diversificada dos setores primário, secundário e terciário. As áreas rurais estão divididas, de forma geral, em pequenas propriedades, e as áreas urbanas constituem cidades de porte pequeno, sendo que apenas algumas são de porte médio.

O problema que se apresenta é compreender a forma de atuação dos fatores de mudanças de uso da terra na área de estudo. Neste caso, os modelos conceituais e matemáticos aplicados em um ambiente de SIG e especificamente os modelos celulares podem servir como forma de abordagem.

Para o estudo do caso da bacia do Itajaí, a princípio, se faz uma caracterização breve da área de estudos. Em segundo lugar, se apresentam os procedimentos metodológicos, os recursos materiais utilizados e, na sequência, os resultados obtidos.

### **3.1 Caracterização da Área de Estudos**

A área de trabalho proposta para o estudo de caso foi a bacia hidrográfica do rio Itajaí apresentada na Figura 4 e brevemente caracterizada a seguir.

Na definição da área de estudo, foram deixadas de fora, partes da bacia correspondentes aos municípios que continham apenas uma pequena parcela dentro da bacia. Esta escolha ocorreu em função de que algumas informações utilizadas no trabalho foram organizadas utilizando a unidade municipal, de forma que foi preferível utilizar somente aquelas unidades municipais que estão totalmente ou quase que totalmente dentro da bacia hidrográfica.



Figura 3 – Localização da área de estudos – bacia hidrográfica do rio Itajaí. Fonte: elaboração do autor.

Os municípios que se situam dentro (alguns somente em parte) da bacia hidrográfica são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de municípios total ou parcialmente dentro da bacia do rio Itajaí. Fontes: População: Censo Demográfico 2000: Resultados preliminares, IBGE; IDM: Síntese dos Indicadores de Desenvolvimento Municipal, SDM-SC 2000; ICMS: Relatório de Arrecadação do ICMS, SF-SC. Os municípios Bom Retiro, Itaiópolis, Massaranduba, Monte Castelo e Papanduva (\*), têm suas sedes fora da bacia. Por este motivo, em grande parte das estatísticas, são citados apenas os demais 49 municípios que têm suas sedes dentro da bacia. Obtido junto ao Comitê da Bacia do Itajaí ([www.comiteitajai.org.br](http://www.comiteitajai.org.br)).

	Nome do Município	População	Classificação IDM <sup>3</sup>	ICMS, em UFIR
1	Agrolândia	7.812	46	638,326
2	Agronômica certo	4.255	61	1.346.925
3	Alfredo Wagner	8.824	249	154.716
4	Apiúna	8.491	147	1.915.266
5	Ascurra	6.937	28	365.456
7	Atalanta	3.429	101	142.671
9	Aurora	5.470	69	313.868
10	Benedito Novo	8.963	128	724.925
11	Blumenau	261.868	3	169.226.217
12	Bom Retiro*			
13	Botuverá	3.757	154	568.740
14	Braço do Trombudo	3.186	173	1.264.656
15	Brusque	75.798	2	41.877.123
16	Chapadão do Lageado	2.560	157	1.488
17	Dona Emma	3.307	177	28.468
18	Doutor Pedrinho	3.055	70	200.610

<sup>3</sup> Segundo informações da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, obtidas em <http://www.sds.sc.gov.br/> (consulta realizada em dezembro de 2004), a metodologia se fundamenta no estudo comparado, isto é, o município com melhor desempenho no indicador, quando comparado ao valor próximo ou igual ao melhor valor (meta) no Estado, é contemplado com o valor máximo, um(1) e o pior com valor mínimo, zero(0). Os municípios intermediários são intercalados entre estes valores, de acordo com o valor relativo observado no indicador de cada município. Os indicadores referem-se ao ano de 2000 e são originários dos segmentos sociais e econômicos: perfil epidemiológico, ensino fundamental, escolaridade, analfabetismo, produto interno bruto, energia elétrica, resultando na combinação de 17 indicadores.

Continuação da Tabela 3.

19	Gaspar	46.377	18	14.646.643
20	Guabiruba	12.988	24	2.449.486
21	Ibirama	15.786	87	1.200.549
22	Ilhota	10.552	52	292.616
23	Imbuia	5.236	132	104.009
24	Indaial	40.100	20	14.883.391
25	Itaiópolis*			
26	Itajaí	147.463	7	58.248.590
27	Ituporanga	19.472	89	2.542.088
28	José Boiteux	4.589	219	83.777
29	Laurentino	5.062	63	793.555
30	Lontras	8.372	204	274.714
31	Luiz Alves*	7.847	71	3.501.924
32	Massaranduba			
33	Mirim Doce	2.744	152	57.546
34	Monte Castelo*			
35	Navegantes	39.295	171	2.959.540
36	Papanduva*			
37	Petrolândia	6.413	117	95.838
38	Pomerode	22.023	16	11.928.140
39	Pouso Redondo	12.130	214	1.257.253
40	Presidente Getúlio	12.325	27	535.927
41	Presidente Nereu	2.303	162	5.534
42	Rio do Campo	6.516	223	165.723
43	Rio do Oeste	6.729	144	760.170
44	Rio do Sul	51.650	29	21.516.436
45	Rio dos Cedros	9.380	86	1.034.157
46	Rodeio	10.376	59	570.935
47	Salete	7.124	44	398.613
48	Santa Terezinha	8.829	267	23.040
49	Taió	16.233	113	1.975.621
50	Timbó	29.295	12	12.435.031

Continuação da Tabela 3.

51	Trombudo Central	5.767	140	1.603.343
52	Vidal Ramos	6.271	106	56.498
53	Victor Meireles	5.518	206	59.717
54	Witmarsum	3.250	73	95.779

A bacia do rio Itajaí drena uma área total de aproximadamente 15000 km<sup>2</sup>, que se inicia no divisor de águas entre a vertente atlântica com a vertente do interior, localizada inteiramente dentro do Estado de Santa Catarina. Incluem-se nesta área 57 municípios, alguns totalmente dentro da bacia, outros parcialmente. A bacia do Itajaí é a maior bacia da vertente atlântica do Estado de Santa Catarina.

Os principais divisores de água da bacia do Itajaí são: a oeste, a Serra Geral e a Serra dos Espigões; ao sul, a Serra da Boa Vista, a Serra dos Faxinais e a Serra do Tijucas e, ao norte, a Serra da Moema. Dentro da bacia do Itajaí, encontra-se a Serra do Itajaí, recentemente transformada em parque nacional, importante remanescente florestal da mata Atlântica<sup>4</sup>.

Os principais rios formadores da drenagem na bacia do Itajaí são: rio Itajaí do Oeste, rio Itajaí do Norte, rio Itajaí do Sul e rio Itajaí Mirim. A bacia apresenta ainda os rios Benedito e Luiz Alves. Os cursos d'água apresentam perfil longitudinal bastante característico, sendo de grande declividade nas nascentes e de baixa declividade no curso inferior, quando cortam planícies aluviais, formado meandros. A densidade de drenagem média é de 1,66km/km<sup>2</sup>.

---

<sup>4</sup> A criação do parque está temporariamente suspensa em função de discussão judicial do assunto.

Quanto ao clima, é classificado, segundo Köppen, como Cfa: clima mesotérmico úmido. As chuvas ocorrem ao longo de todo o ano, mas em maior quantidade de outubro a março, quando se concentram as chuvas de grande intensidade.

Quanto à geomorfologia, a bacia do Itajaí apresenta aspectos distintos em cada uma das suas três principais divisões: alto, médio e baixo vale. No alto vale observa-se rochas graníticas (Granito Subida) em certa altura que confere aos rios Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste um caráter senil na altura do município de Lontras. Próximo das nascentes dos rios, o terreno é mais íngreme, tornando-se mais plano à medida que se aproxima do Granito Subida. O médio vale apresenta principalmente rochas sedimentares e do embasamento cristalino, resultando em uma topografia bastante acidentada. No baixo vale, além de serras litorâneas produzidas pelas rochas do embasamento (mais duras), observa-se a existência de planícies aluviais de deposição.

Quanto à vegetação, a maior parte das terras está na região da Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica (71%), e da Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária (28%). Pequenos mosaicos de Estepe ou Campos Naturais (1%) (COMITÊ DO ITAJAÍ, 2002).

A bacia do Itajaí tem aproximadamente 950.000 habitantes, conforme o Censo Demográfico (BRASIL, 2004 – Resultados Preliminares, 2000), o que representa algo em torno de 19% da população do Estado de Santa Catarina.

Em relação à demografia e à produção econômica dos municípios da bacia, é possível uma análise a partir das informações do Índice de Desenvolvimento Municipal e dos dados divulgados sobre o Imposto sobre Circulação de Mercadorias (ICMS). Este estudo mostra que enquanto a população da bacia hidrográfica do Itajaí cresceu algo em torno de 1% entre 1996 e 2000, a população do Estado de Santa Catarina cresceu praticamente o dobro (2,3% aproximadamente). Segundo o Censo Demográfico de 2000 realizado pelo instituto IBGE, um número próximo de 80% desta população está nas áreas urbanas. Os municípios da bacia contribuem com uma arrecadação de 18% dos impostos (ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias).



A economia da região apresenta grande importância em relação ao Estado de Santa Catarina, contribuindo com produção agropecuária (principalmente no alto vale), industrial (principalmente no baixo vale) e serviços, tanto para o mercado interno como para exportação. A renda per capita na bacia é maior que a média no Estado.

A bacia é conhecida também em função da ocorrência do fenômeno periódico das cheias que causam enchentes em cidades do alto, médio e baixo vale. Os maiores danos advindos do fenômeno são observados no médio vale, em função tanto da intensidade do fenômeno quanto da suscetibilidade das cidades em função de formas de ocupação das terras.

### **3.2 Procedimentos Metodológicos**

Para conduzir o experimento foram utilizados diversos procedimentos metodológicos. Primeiramente, foi desenvolvido um sistema de informações geográficas (SIG) para receber, organizar e permitir algumas análises automáticas das informações da área de estudos. Posteriormente, foi efetuado um estudo do uso da terra, em duas datas, através de técnicas de sensoriamento remoto. Por fim, foi realizado o desenvolvimento de um modelo matemático computacional. A seguir, uma descrição de cada uma destas etapas metodológicas.

#### **3.2.1 Sistema de Informações Geográficas e Cartografia**

Alguns problemas são observados quando se trabalha com informação ambiental. Qualidade e quantidade de informação nem sempre são suficientes. É possível apontar problemas relacionados à geração, coleta, organização, manuseio de informações. Outros problemas que podemos apontar dizem respeito a prazos e cronogramas, que na grande maioria das vezes são dilatados além do aceitável. O que significa dizer que, muitas vezes, quando a informação chega, ela já está defasada. Outros problemas dizem respeito à disponibilização e divulgação das informações que tem sido relegadas a um segundo plano. Certos tipos de usuários não têm acesso à informação e por isso deixam de aproveitá-las (ALBRECHT e OHIRA, 1999).

Buscando a melhor organização do grande número de dados e informações<sup>5</sup> para a realização do experimento, foi estruturado um SIG. O SIG é um conjunto de programas técnicas e metodologias para obter, armazenar, tratar, analisar e gerar informações, bem como para produzir saídas destas informações.

Segundo Lopes, “o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados” (LOPES, 2000).

A estrutura geral de um SIG pode ser representada pela Figura 5, em uma visão, abrangente, conforme CÂMARA e MEDEIROS (1998).

---

<sup>5</sup> A diferença entre dados e informações diz respeito ao grau de tratamento. Dados são informações brutas, sem qualquer tipo de organização ou melhoria que permita realizar análises. Os dados precisam ser tratados adequadamente para virarem informações.

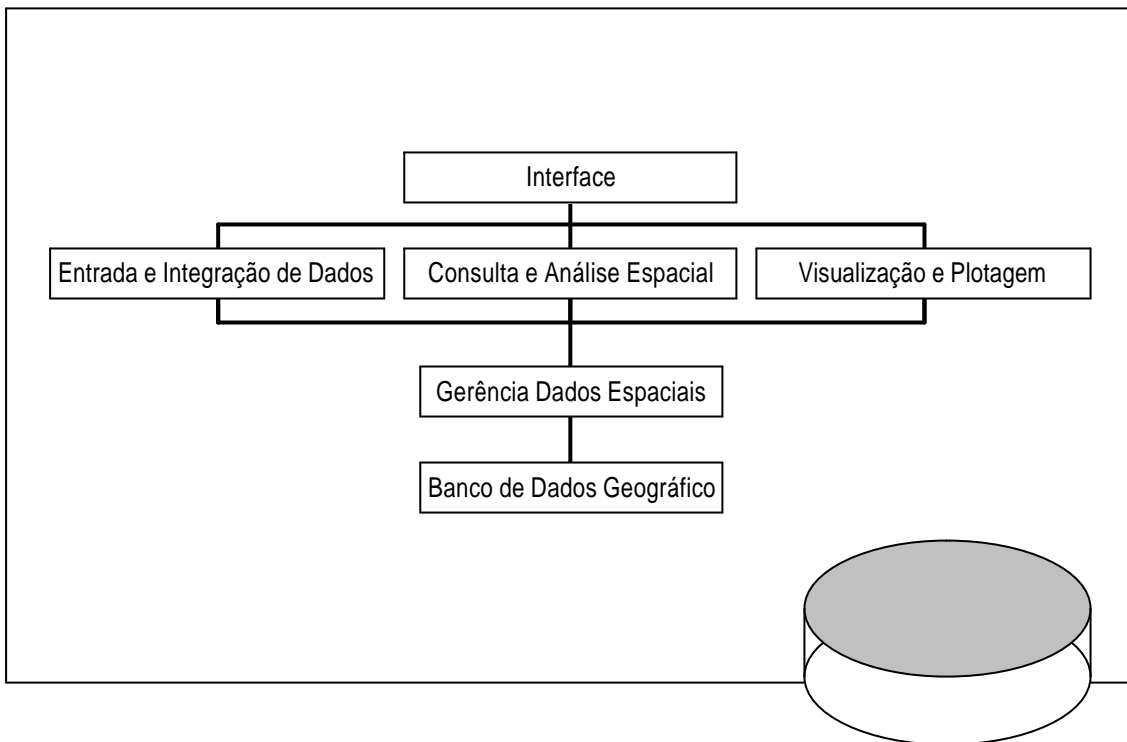


Figura 4 – Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas. Fonte CÂMARA e MEDEIROS (1998).

Uma característica importante do SIG é o fato de trabalhar com a localização espacial das informações, utilizando a tecnologia do geoprocessamento, ou seja, cada elemento dos mapas é localizado através de coordenadas espaciais e por isso o relacionamento espacial entre estes elementos pode ser avaliado pelo SIG.

O SIG armazena diversos tipos de dados: mapas e dados tabulares alfa-numéricos, todos referenciados a elementos gráficos nos mapas e que, por sua vez, tem localização geográfica determinada. Assim, o SIG permite representar elementos da realidade em mapas e armazenar atributos destes mesmos elementos. Por exemplo, uma determinada propriedade rural pode ser representada por um polígono em um mapa e os vértices deste polígono tem coordenadas espaciais conhecidas. Por outro lado, arquiva-se em uma tabela as informações sobre a produção agrícola desta propriedade, tais como as culturas produzidas e as quantidades produzidas.

As principais referências para as metodologias e técnicas utilizadas no SIG foram obtidas em Burrough, Bonham-Carter, Câmara et al e Ormsby, Napoleon, Burke e Feaster (BURROUGH, 1986, BONHAM-CARTER, 1994; CÂMARA et al, 1996, ORMSBY, NAPOLEON, BURKE e FEASTER, 2001).

A base cartográfica utilizada foi a “Carta do Brasil” – escala 1:50.000 (BRASIL, 1981). Esta base cartográfica foi originalmente realizada em papel, na escala 1:50.000, contendo uma série de temas: topografia, hidrografia, rodovias, toponímias, vegetação, áreas urbanas, etc... Como forma de inseri-la no SIG, foi necessário digitalizar todas as folhas em papel, transformando-as em mapas digitais a serem trabalhados no computador. Apesar de se ter informações extra-oficiais da realização deste trabalho pelo próprio IBGE, em função de uma série de fatores, principalmente a questão de prazos, definiu-se por realizar este trabalho com recursos próprios do Instituto de Pesquisas Ambientais e do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Detalhes do trabalho de digitalização podem ser encontrados em [www.ipa.furb.br/geovale](http://www.ipa.furb.br/geovale), o qual foi realizado pelo grupo de pesquisas em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (conhecido como GEOVALE) da FURB e teve participação ativa do autor (PINHEIRO e outros, 2001; REFOSCO e outros, 2001; VIBRANS e outros, 2001).

O projeto GEOVALE, a princípio, buscou estabelecer apenas as bases para a realização de um sistema completo a ser realizado em um futuro próximo. Vários trabalhos foram agregando esforços para organizar uma base de dados e informações, bem como o desenvolvimento do ferramental necessário para a transformação destas informações em conhecimento sobre o vale do Itajaí. Vários artigos científicos, pelo menos uma dissertação de mestrado e duas teses de doutorado (este trabalho é uma delas), foram realizadas no âmbito do GEOVALE.

Atualmente, a organização de um sistema de informações geográficas e mesmo de vários outros tipos de sistemas de informações depende da produção de informações no formato digital. Até há pouco tempo, toda informação era gerada na forma analógica e impressa em papel. A conversão deste tipo de informação em digital está na base da

construção de sistemas de organização da informação como é o caso do SIG. Atualmente, a informação cartográfica é desenvolvida já no formato digital.

Especificamente quanto à cartografia digital do GEOVALE, utilizada também no presente estudo, sua produção compreendeu basicamente os seguintes passos: (a) obtenção de arquivos digitais raster das 44 folhas do IBGE; (b) georeferenciamento destas folhas em um programa CAD com a concordância do sistema cartográfico brasileiro; (c) vetorização dos elementos gráficos do mapa corrigido no item “b” de forma automática e manual. Maiores Informações sobre os procedimentos de vetorização podem ser encontrados em Bentley (1996).

Para os passos “b” e “c”, foi utilizado o programa de vetorização automática Bentley – Reprographics. Os arquivos digitais raster correspondentes às 44 folhas topográficas foram cedidos pelo IBGE.

Os padrões cartográficos são uma questão importante no SIG e, para que houvesse possibilidade de conexão deste SIG com outros sistemas de informações, foram seguidos os padrões cartográficos estipulados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2002a, BRASIL, 2002b).

Os arquivos gerados pelo projeto GEOVALE contêm informações sobre hidrografia, limites político-administrativos, rodovias e topografia, sendo esta última vetorizada contendo informações em três dimensões, o que permitiu, mais tarde, gerar o modelo digital do terreno e o mapa de declividade do terreno.

Diversas instituições privadas e públicas têm desenvolvido trabalhos de conversão de dados analógicos em digitais, dentre elas o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e o Serviço Geográfico do Exército na esfera federal e a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Mercosul no âmbito do Estado de Santa Catarina. Existe, então a necessidade da criação de métodos e padrões, com o objetivo de permitir o intercâmbio de dados das diversas fontes. A Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) gerou alguns padrões para criação de cartografia digital, os quais utilizam nos seus trabalhos.

Na década de 90, a crescente necessidade dos usuários de produtos passíveis de serem carregadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), aliadas à necessidade de automatizar os processos de produção cartográfica, conduziram a DSG a desenvolver um padrão para estruturas dos dados digitais. Esses dados deveriam conter características específicas, para que pudessem ser interpretados por SIG. O resultado disso foi a elaboração das Normas de Estruturação e Validação de Dados Digitais, da DSG.

Essas Normas prevêem a estruturação e a validação dos arquivos digitais referentes a cartas topográficas do mapeamento sistemático, conforme a coleção de feições definida nas Tabelas da Base Cartográfica Digital (TBCD). Sua confecção segue as seguintes premissas:

“1) Criação - criar elementos espaciais não previstos no manual e necessários para SIG, em especial os voltados à infra-estrutura; 2) Eliminação - elementos espaciais não existentes no território nacional serão suprimidos; 3) Unificação - elementos espaciais com representação gráfica distintas no manual, mas que a toponímia pode ser usada como elemento diferenciador, possuirão representação única na TBCD; 4) Flexibilidade - cada elemento espacial estará definido em um único nível, dentro de sua respectiva categoria. A toponímia para cada categoria será lançada em arquivos separados; 5) Universalidade - os elementos espaciais serão passíveis de identificação através de qualquer programa para SIG ou mesmo qualquer CAD; 6) Unicidade - elemento espacial não representável em escala será representado por um único símbolo, independente da escala”. (BRASIL, 2002c).

Os dados gerados em formato digital precisam ser validados segundo metodologia criteriosa. Esta validação busca conhecer as características do produto gerado, tanto quanto à qualidade cartográfica e temática dos mapas quanto aos aspectos gráficos dos elementos dos mapas, e também quanto ao sistema de arquivos digitais utilizado na organização das informações (BRASIL, 2002b).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE utiliza uma metodologia bastante extensa para validar os produtos digitais gerados.

A validação dos arquivos provenientes da vetorização de arquivos raster oriundos da digitalização automática de originais cartográficos confeccionados na produção de cartas topográficas é feita basicamente através de inspeções visuais, ora sobre a tela do monitor da estação de trabalho, ora sobre plotagem, em cores, dos arquivos vetoriais, para a verificação de erros na execução da vetorização, bem como efetuar a correção dos erros detectados. Alguns procedimentos podem ser executados através de funções automatizadas, especialmente na verificação da estruturação dos elementos cartográficos organizados por categorias e níveis de informação, e nos requisitos de topologia dos oito arquivos que armazenam os dados representados na carta (BRASIL, 2002a).

Após a finalização dos trabalhos de vetorização, os mapas digitais resultantes foram inseridos no SIG. Deste modo, foram obtidos os seguintes mapas: Curvas de nível (3d), Hidrografia, Centros urbanos, Rodovias, Político-administrativo municipal, todos referentes às Folhas do IBGE listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Lista de Folhas da Carta do Brasil utilizadas na base cartográfica. Fonte: organizado pelo autor

Nome	Índice Nomenclatura
AGUTI	SG-22-Z-D-I-4
ALFREDO WAGNER	SG-22-Z-D-IV-1
ANITÁPOLIS	SG-22-Z-D-IV-4
APIÚNA	SG-22-Z-D-I-1
BARRA VELHA	SG-22-Z-B-V-2
BIGUAÇU	SG-22-Z-D-II-4
BLUMENAU	SG-22-Z-B-IV-4
BOCAINA DO SUL	SG-22-Z-C-VI-1
BOM RETIRO	SG-22-Z-D-IV-3
BOM RETIRO	SG-22-Z-D-IV-3
BOTUVERÁ	SG-22-Z-D-I-2
BRUSQUE	SG-22-Z-D-II-1
CAMBORIÚ	SG-22-Z-D-II-2
CAMPO ALEGRE	SG-22-Z-B-I-1
CANOINHAS	SG-22-Z-A-II
DONA EMA	SG-22-Z-A-VI-4
GARUVA	SG-22-Z-B-I-1
GASPAR	SG-22-Z-B-V-3
ITAIÓPOLIS	SG-22-Z-A-III-3
ITAJAÍ	SG-22-Z-B-V-4
ITUPORANGA	SG-22-Z-C-III-4
JARAGUÁ DO SUL	SG-22-Z-B-I-4
JOINVILE	SG-22-Z-B-II-3
LUIS ALVES	SG-22-Z-B-V-1

Continuação da Tabela 4.

PETROLÂNDIA	SG-22-Z-C-VI-2
POMERODE	SG-22-Z-B-IV-2
PONTE ALTA	SG-22-Z-C-II
RANCHO QUEIMADO	SG-22-Z-D-IV-2
REPRESA ALTO RIO PRETO	SG-22-Z-A-VI-2
RIO DO SUL	SG-22-Z-C-III-2
RIO DOS CEDROS	SG-22-Z-B-IV-1
RIO ITAJAÍ DO NORTE	SG-22-Z-A-VI-1
RIO NEGRINHO	SG-22-Z-A-III-4
SANTA CECÍLIA	SG-22-Z-A-V
SÃO BENTO DO SUL	SG-22-Z-B-I-3
SÃO JOÃO BATISTA	SG-22-Z-D-II-3
SÃO MIGUEL	SG-22-Z-B-I-1
TAIÓ	SG-22-Z-C-III-1
TIMBÓ	SG-22-Z-B-IV-3
TROMBUDO CENTRAL	SG-22-Z-C-III-3
VIDAL RAMOS	SG-22-Z-D-I-3
WITMARSUM	SG-22-Z-A-VI-3

Uma vez inseridos no SIG, os mapas que consistiam na cartografia básica foram tratados, visando adequá-los para que representassem da melhor forma as feições da realidade representada, bem como permitissem trabalhar adequadamente com estes mapas, visando ao alcance dos objetivos. Assim, os mapas sofreram edições para correções ou transformações necessárias. Ao final deste processo de edição, os mapas contidos no SIG estavam adequados para receber novas informações, sofrer cruzamentos com outros mapas, permitir análises, além de edições para correções. A Tabela 5 apresenta a relação final dos mapas realizados.

Os mapas de curvas de nível, hidrografia, rodovias e limites político-administrativos obtidos do Projeto GEOVALE/IPA/DEF sofreram apenas edições para correção de erros de digitalização, bem como para atribuição de parâmetros cartográficos (projeção



cartográfica, datum, escala e unidade de medida utilizada). Estes mapas têm a estrutura vetorial e foram vetorizados na escala 1:50.000.

Os mapas de limites político-administrativos municipais foram obtidos através de uma edição mais aprofundada do mapa de limites político-administrativos do Projeto GEOVALE/IPA/DEF. Neste caso, a edição transformou o mapa de linhas em mapa de polígonos vetoriais.

O modelo digital do terreno foi um passo intermediário e imprescindível para a obtenção do mapa de declividade do terreno. Para a geração do modelo do terreno, em primeiro lugar, foi gerada uma grade triangular (vetor) a partir das curvas de nível. Em seguida, foi gerada uma grade retangular (raster) com resolução de 30 metros.

Para a estruturação do SIG foram utilizados os programas Programa ARCGIS – ESRI, versão 8.3, módulo Básico; Programa ARCGIS – ESRI, versão 8.3, módulo “Spatial Analyst”; Programa ARCGIS – ESRI, versão 8.3, módulo “3D Analyst” (ESRI, 2001); Programa CAD Microstation – Bentley, versão 5 (BENTLEY SYSTEMS, 1997). Foram utilizados 3 computadores PC com velocidade de 2,8 GHz, 512Mb de Memória RAM, 40 Gb de memória em disco, com sistema operacional Windows 2000, ligados em rede.

Tabela 5 – Relação final dos mapas constantes no SIG. Fonte: organizado pelo autor.

Nome do Mapa	Tipo de feição	Escala	Características Cartográficas	Fonte
Curvas de nível (topográfico)	Linhas 3D	1:50.000	Sistema de Coordenadas: Transversa de Mercator  Falso Leste: 500,000000 Falso Norte: 10000,000000 Meridiano Central: -51,000000  Fator de Escala: 0,999600 Latitude de Origem: 0,000000 GCS_South_American_1969 Datum: D_South_American_1969 Primeiro Meridiano: 0	Projeto GEOVALE/FURB, digitalizados a partir da Carta do Brasil – 1:50.000.
Modelo digital de elevações	Raster – 3D	1:50.000 – resolução 30 metros		Gerado utilizando o ARCGIS 3D Analyst a partir do mapa de curvas de nível. Não validado para hidrologia.
Declividade do terreno	Raster – temático	1:50.000 – resolução 30 metros		Gerado a partir de processamento aplicado sobre o modelo digital de elevações através do programa ARCGIS 3D Analyst. As classes de declividade foram definidas em função da legislação ambiental.
Hidrografia	Linhas	1:50.000		Projeto GEOVALE/FURB, digitalizados a partir da Carta do Brasil – 1:50.000.
Distâncias dos cursos d'água	Polígonos	1:50.000		Gerado a partir do mapa de hidrografia, através da aplicação de “buffers” a várias distâncias dos rios.

Continuação da Tabela 5.

Limites político-administrativos – municípios	Polígonos	1:50.000		Gerado através de edição de mapas digitalizados pelo Projeto GEOVALE/FURB, a partir da Carta do Brasil – 1:50.000.
Número de estabelecimentos industriais por município	Polígonos	1:50.000		Gerado a partir do mapa de unidades municipais e dados tabulares do IBGE.
Número de estabelecimentos comerciais por município	Polígonos	1:50.000		Gerado a partir do mapa de unidades municipais e dados tabulares do IBGE.
Rodovias	Linhas	1:50.000		Projeto GEOVALE/FURB, digitalizados a partir da Carta do Brasil – 1:50.000
Distâncias de rodovias primárias	Polígonos	1:50.000		Gerado a partir do mapa de rodovias, através da aplicação de “buffers” a várias distâncias das rodovias primárias (BRs e SCs pavimentadas).
Distâncias de rodovias secundárias	Polígonos	1:50.000		Gerado a partir do mapa de rodovias, através da aplicação de “Buffers” a várias distâncias das rodovias secundárias (demais rodovias que não BRs nem SCs pavimentadas).

Continuação da Tabela 5.

Áreas urbanas	Polígonos	1:50.000		Projeto GEOVALE/FURB, digitalizados a partir da Carta do Brasil – 1:50.000.
Bacia hidrográfica do rio Itajaí	Polígonos	1:50.000		Gerado traçando os divisores de água sobre os mapas hidrográfico e topográfico.
Uso da terra em 1986	Raster – temático – resolução 30 metros	1:50.000		Gerado a partir da interpretação de imagens de satélite Landsat TM5 obtidas pela passagem do satélite em setembro e outubro de 1986 (ver item 3.2.2)
Uso da terra em 2000	Raster – temático – resolução 30 metros	1:50.000		(VIBRANS, 2003)
Vazões mínimas específicas	Raster – temático – resolução 30 metros	1:250.000		(FISTAROL, 2004)
Limites político-administrativos – Brasil	Polígonos	1:1.000.000	Sistema de Coordenadas: GCS_Assumed_Geographic_1	(BRASIL, 1997)
Limites político-administrativos – Santa Catarina	Polígonos	1:1.000.000	Datum: D_North_American_1927 Primeiro Meridiano: 0	(BRASIL, 1997)

Dentre este conjunto de mapas, onze deles representam variáveis que foram consideradas para serem utilizadas no modelo dinâmico como fatores de mudanças de uso do solo. Estas variáveis são descritas na Tabela 6,

Tabela 6 – Relação das variáveis consideradas para o modelo dinâmico. Fonte: organizado pelo autor.

Variáveis	Sigla
Distância de Rodovias Primárias	Drodo1
Distância de Rodovias Secundárias	Drodo2
Distância de cursos d'água	Dagua
Distância de Centros Urbanos	Dcurb
Declividade do solo	Decli
Solos	Solos
Vazão mínima específica	Q710
População rural em 1986	PR
População urbana em 1986	PU
Número de estabelecimentos comerciais em 1986	NC
Número de estabelecimentos industriais em 1986	NI

O SIG foi organizado de forma que o município fosse a unidade de análise para algumas variáveis, especialmente as sócio-econômicas. Para o levantamento de parâmetros físico-naturais, sócio-econômicos e culturais será utilizado o município como unidade de análise.

Os mapas foram gerados utilizando-se a técnica mais adequada para cada caso no que diz respeito aos tipos de dados. Assim, em uma primeira fase, alguns deles foram gerados como mapas vetoriais. Nas fases finais, antes do uso dos dados no modelo dinâmico, todos os mapas foram convertidos para mapas raster, com a resolução de 250 metros, tamanho definido em função de comparação com outros trabalhos científicos. Por isso, nas descrições metodológicas a seguir, por vezes se falará em pixels.

Os dados tabulares foram obtidos junto ao IBGE (BRASIL, 2004).

### 3.2.2 Mapeamento de Uso da Terra

Dois mapas de uso da terra foram utilizados no trabalho – uso da terra em 1986 e uso da terra em 2000. Este último foi obtido de Vibrans (VIBRANS, 2003), sendo modificado para seu melhor uso na comparação com as demais informações. O primeiro é resultado desta pesquisa e para sua realização, foram seguidos os procedimentos descritos neste item.

Para a efetivação do mapeamento de uso da terra, foi utilizado um procedimento de interpretação automático de imagens de satélite, procurando-se, na medida do possível, para fins de comparação, utilizar os mesmos métodos apresentados em (VIBRANS, 2003). Pequenas alterações, contudo, foram introduzidas sem que comprometessem a qualidade dos resultados.

Assim, não foram aplicadas correções radiométricas das imagens, já que em função do emprego dos resultados neste trabalho, este procedimento não era uma necessidade, sendo utilizado normalmente quando se promove a comparação automática de imagens. Neste trabalho, optou-se pela comparação manual dos mapas e não das imagens.

O procedimento metodológico principal foi a classificação automática de imagens digitais, acompanhada de outros procedimentos auxiliares, tais como a georeferenciamento da imagem com a base cartográfica, a melhoria de contraste, as análises estatísticas dos resultados, a mosaicagem dos mapas resultantes.

Todos os métodos são encontrados principalmente em Lillesand (2000) e Richards (1993).

Para esta etapa foram utilizados os seguintes programas de computador: ENVI 3.5, para o tratamento das imagens digitais; ARCGIS 8.3, um sistema de informações geográficas para arquivamento e análise dos mapas de uso da terra e o programa CORELDRAW 9, programa de edição gráfica, para a realização de mosaico das imagens resultantes (mapas de uso da terra).

A seguir serão descritos os procedimentos para o mapeamento de uso da terra em 1986, o qual utilizou imagens do sensor Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite LANDSAT 5. As imagens utilizadas são da passagem realizada pelo satélite em 14 de setembro de 1986 para a órbita/ponto 220/78 e 79 e de 23 de outubro de 1986 para a órbita/ponto 221/78 e 79. As características técnicas das imagens são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Imagens de satélite utilizadas e respectivas características técnicas. Fonte: organizado pelo autor. <sup>6</sup>

Data da passagem	Órbita/ponto	Satélite/Sensor	Bandas espectrais utilizadas	Origem	Tipo de reamostragem
14/09/86	220/78	LANDSAT/TM5	1,2,3,4,5,7	USGS <sup>7</sup>	NN <sup>8</sup>
14/09/86	220/79	LANDSAT/TM5	1,2,3,4,5,7	USGS	NN
23/10/86	221/78	LANDSAT/TM5	1,2,3,4,5,7	USGS	NN
23/10/86	221/79	LANDSAT/TM5	1,2,3,4,5,7	USGS	NN
07/05/00	220/78	LANDSAT/ETM7	1,2,3,4,5,7	CONAE	NN
07/05/00	220/79	LANDSAT/ETM7	1,2,3,4,5,7	CONAE	NN
08/12/00	221/78	LANDSAT/ETM7	1,2,3,4,5,7	INPE	NN
08/12/00	221/79	LANDSAT/ETM7	1,2,3,4,5,7	INPE	NN

<sup>6</sup> A Tabela mostra também as imagens de 2000, mas apenas as imagens de 1986 foram utilizadas na classificação automática para gerar o mapa de uso da terra em 1986.

<sup>7</sup> USGS – United States Geological Survey

<sup>8</sup> NN – Nearest Neighbourhood (Vizinho Mais Próximo)

As seguintes etapas foram seguidas para fazer a classificação das imagens e a geração do mapa de uso da terra em 1986, sendo a maioria delas realizadas através do programa ENVI3.5.

**Leitura e georeferenciamento:** Nesta etapa, foi efetuada a leitura da imagem a partir da mídia original e a sua georeferenciamento. O objetivo deste procedimento é, basicamente, fazer a imagem coincidir com a base cartográfica, visando a permitir, mais tarde, a correta avaliação quantitativa de distâncias, áreas e de localização geográfica dos elementos visíveis na imagem. Foi utilizado um procedimento de georeferenciamento com o mapa, por meio da identificação de pontos de controle comuns tanto à imagem quanto ao mapa e da aplicação de um algoritmo de correção baseado em um polinômio de segundo grau. Em função do conjunto de imagens utilizadas, optou-se por realizar dois mosaicos: um com as imagens da órbita 220 e outro com as imagens da órbita 221. Cada mosaico de imagens foi tratado e depois interpretado, a princípio, separadamente, buscando evitar problemas de diferenças de contraste, já que uma mesma classe de uso da terra apresentava-se de forma distinta em cada um dos mosaicos, em função das diferenças nas datas de aquisição das imagens.

**Correção atmosférica:** Não foi realizada correção atmosférica (calibragem) da imagem em função de que não se pretendia compará-la automaticamente com outras imagens de diferentes datas.

**Análise preliminar e definição de classes de interpretação:** Depois de concluída a georeferenciamento, foi realizada uma análise preliminar visual da imagem, buscando-se conhecer melhor as características da terra e as condições gerais para sua interpretação. Nesta etapa, também foram definidas as classes de interpretação de uso da terra, as quais estão listadas na Tabela 8. Estas classes foram definidas em função dos objetivos do trabalho, bem como das classes utilizadas por Vibrans (VIBRANS, 2003) e da separabilidade de classes permitida pela imagem em interpretação. É importante frisar que, para a realização prática da classificação, foi necessário separar certas classes em mais de uma, uma vez que, na imagem, estas classes apareciam diferenciadas em razão de alguns fatores como, por exemplo, a topografia e a exposição.



Tabela 8 – Classes de uso da terra utilizadas na interpretação e respectivas siglas. Fonte: organizado pelo autor.

Nome da classe	Sigla	Número digital no mapa raster de saída
Fundo da imagem	FUNDO	0
Área não identificada	ANI	1
Águas	A	2
Arrozeiras	AR	3
Cidades	C	4
Floresta plantada	FP	5
Vegetação Natural	VN	6
Outras classes	O	7
Agropecuária	AG	8

A imagem, neste caso, apresentou grande dificuldade para separar as classes agropecuária e cidades, tanto que, após diversas tentativas infrutíferas de realizar a separação destas classes pela interpretação automática, optou-se por fazer a separação manual através do mapeamento das cidades, classe que apresenta uma superfície bem menor e facilmente localizável com o uso de um mapa auxiliar.

**Interpretação automática:** Esta etapa iniciou com a definição de áreas amostrais sobre a imagem, representativas de cada uma das classes apresentadas na Tabela 8. Estas classes seriam posteriormente reagrupadas para a organização do mapa de uso da terra, resultando nas classes relacionadas na Tabela 9.

Utilizando-se então das classes da Tabela 9, foram coletadas várias amostras de cada uma, pelo menos três de cada classe. Em seguida, foi realizada a análise da qualidade (separabilidade) das áreas amostrais obtidas. Esta análise foi efetuada através do cálculo do índice de Divergência Transformada de Jeffries-Matusita (J-M). Foram realizadas diversas tentativas até alcançar padrões aceitáveis neste índice, o que significa uma boa separabilidade. Como o informado acima, a classe “cidades” foi separada posteriormente

de forma manual, pois o Índice JM não se apresentou satisfatório em nenhuma das tentativas.

Após serem obtidos resultados aceitáveis nas áreas amostrais, procedeu-se à classificação automática, utilizando o classificador (algoritmo) MAXVER (máxima verossimilhança) (RICHARDS, 1993). O parâmetro Limiar de Probabilidade utilizado na execução da classificação está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Limiares de Probabilidade utilizados na interpretação automática da imagem de 1986. Fonte: organizado pelo autor.

Nome da classe	Limiar de Probabilidade
Águas	0,4
Arrozeiras (água)	0,7
Arrozeiras (vegetação)	0,7
Cidades	0,8
Floresta plantada (Pinus)	0,7
Floresta plantada (Pinus novo)	0,6
Floresta plantada (Eucalipto)	0,4
Vegetação Natural	0,4
Vegetação Natural (Sombras)	0,4
Outras classes (Sombras)	0,4
Outras classes (Nuvens)	0,4
Agricultura	0,6
Agropecuária (Ciclo longo)	0,4
Agropecuária (Solo exposto)	0,6

A qualidade dos resultados obtidos pode ser avaliada pela matriz de confusão da classificação, que é apresentada nas informações do Anexo 7.5. Em função provavelmente das condições climáticas na época da tomada da imagem em 1986, existe a possibilidade de erro na classificação, que após análise de informações do IBGE e do trabalho de Vibrans (VIBRANS, 2003), estima-se tenha ocorrido entre as classes

Vegetação Natural (superestimada) e Agropecuária (subestimada). A diferença pode chegar a 7%, o que, contudo, está bastante próximo do erro admitido em classificações automáticas de áreas com o tamanho da área de trabalho e com a diversidade de classes de uso da terra identificados e utilizados na classificação (RICHARDS, 1993; COUTINHO, 1997).

**Geração de mapa de uso da terra em 1986:** após todos os procedimentos de classificação o programa gerou uma nova imagem para cada mosaico processado. Estas duas novas imagens foram então unidas no programa Coreldraw 9, para depois serem importadas e georeferenciadas dentro do SIG.

### 3.2.3 Análises de Dados no SIG e Métodos Estatísticos

Nesta etapa, foi desenvolvida uma série de procedimentos estatísticos e análises automáticas de dados no SIG, visando, principalmente, a dois objetivos. Em primeiro lugar, conhecer o grau de associação espacial entre cada uma das variáveis disponíveis e possíveis tipos de mudança de uso da terra. Em segundo lugar, calcular a quantidade percentual de transições que ocorreram a cada ano em cada classe de uso da terra desde 1986 até 2000. Estes dois produtos - o grau de associação espacial e a matriz anual - serão utilizados, mais tarde, para alimentar o modelo dinâmico de uso da terra.

Para realização dos procedimentos apresentados neste item, foram utilizados os métodos e técnicas apresentados, principalmente, por (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003 e CÂMARA e MONTEIRO, 2003).

Esta etapa foi realizada, em parte, com o programa ARCGIS e, em parte, com o programa IDRISI, versão 2.0, já que este último apresenta uma série de implementações para processamentos e análises automáticas de informações.

#### **3.2.3.1 Correlações entre variáveis**

Primeiramente, era necessário avaliar as variáveis disponíveis e que seriam testadas, mais tarde, como possíveis fatores de mudança de uso da terra. Esta avaliação pretendia conhecer melhor cada uma das variáveis, principalmente em relação ao grau de associação

espacial de cada par de variáveis. Buscava-se evitar o uso de variáveis muito correlacionadas entre si, o que poderia causar um peso excessivo no modelo, ou seja, se duas variáveis são muito correlacionadas, é possível e bastante provável que decorram ou expliquem o mesmo fenômeno. Sendo assim, pode-se utilizar apenas uma delas e não ambas.

A comparação e seleção das variáveis foram realizadas com a utilização do Índice V de Cramer, calculado pela seguinte equação:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T_{..} \cdot M}} \quad (1)$$

Onde:

$X^2$  corresponde à estatística Chi-Quadrado;

$T_{..}$  corresponde ao somatório de linhas e colunas da Tabela (mapas);

$M$  corresponde ao valor mínimo de  $T_{..}$ .

Quando o índice é 0, ele indica inexistência de associação entre os dois mapas (variáveis) testados, e quando ele é 1, indica total associação entre os mapas. Para realizar a estatística de duas variáveis distribuídas espacialmente em mapas, torna-se necessária a realização de um cruzamento dos mapas por sobreposição. O sistema avalia, então, cada par de *pixels*, comparando as classes de cada um, gerando um mapa resultante – o mapa cruzamento, também conhecido como matriz  $T$ .

[Considerando dois mapas A e B,] essa matriz possui elementos  $T_{ij}$ , onde há  $i = 1, 2, \dots, n$  classes no mapa B (linhas da tabela), e  $j = 1, 2, \dots, n$  classes no mapa A (colunas da tabela). Os totais marginais de  $T$  são definidos como  $T_i$  para a soma da  $i$ -ésima linha,  $T_j$  para a soma da  $j$ -ésima coluna, e  $T_{..}$  para o grande somatório total de linhas e colunas. Se os dois mapas (A e B) são independentes entre si, sem qualquer tipo de associação espacial entre eles, então a área esperada na categoria de sobreposição é dada pelo produto dos totais marginais dividido pelo grande somatório total. Portanto, a área esperada  $T_{ij}^*$  para a  $i$ -ésima linha e  $j$ -ésima coluna é:

$$T_{ij}^* = \frac{T_i \cdot T_j}{T_{..}} \quad (2)$$

$X^2$ , fica sendo:

$$X^2 = \sum_i^n \sum_j^n \frac{(T_{i,j} - T_{i,j}^*)^2}{T_{i,j}^*} \quad (3)$$

... na prática, e isto ocorre no cálculo do Índice V de Cramer pelo IDRISI,  $T_{i,j}$  é considerado na sua totalidade, isto é, com o seu total original de linhas e colunas. (Almeida *et al.*, 2003).

O uso do Índice de Cramer para avaliar a associação em conjuntos de dados implica a definição de um limiar que separe dados correlacionados. Almeida estabelece empiricamente o limiar de 0,5. Desta forma, pares de mapas que, ao serem avaliados, apresentem o índice V maior que 0,5 seriam correlacionados e uma das variáveis do par deveria ser descartada (ALMEIDA, 2003).

A Tabela 10 apresenta a relação do índice V de Cramer calculado para cada par de variáveis. Após o cálculo e análise dos resultados, observou-se que a maioria dos conjuntos de dados ficou próxima ou abaixo do limiar de 0,5. Optou-se por utilizar todas as variáveis, mesmo aquelas que apresentaram valor um pouco acima do limiar estabelecido, em função do pequeno conjunto de variáveis disponíveis.

Tabela 10 – Relação das variáveis utilizadas no experimento e respectivos Índices V de Cramer. Fonte: organizado pelo autor.<sup>9</sup>

Variáveis	USO1986	USO2000	Drodo2	Drodo1	Dagua	Decli	PR	PU	Q710
USO1986	x	0,5055	0,5864	0,5942	0,5853	0,4737	0,5095	0,5093	0,4815
USO2000	0,5055	x	0,5894	0,5992	0,5861	0,4881	0,5124	0,5115	0,4864
Drodo2	0,5864	0,5894	x	0,5959	0,587	0,5855	0,578	0,5851	0,5481
Drodo1	0,5942	0,5992	0,5959	x	0,5834	0,5895	0,5804	0,5859	0,5477
Dagua	0,5853	0,5861	0,587	0,5834	X	0,5811	0,579	0,578	0,5487
Decli	0,4737	0,4881	0,5855	0,5895	0,5811	x	0,5019	0,5057	0,478
PR	0,5095	0,5124	0,578	0,5804	0,579	0,5019	x	0,6517	0,5036
PU	0,5093	0,5115	0,5851	0,5859	0,578	0,5057	0,6517	x	0,5226
Q710	0,4815	0,4864	0,5481	0,5477	0,5487	0,478	0,5036	0,5226	x

### 3.2.3.2 Matriz global de transições

Um segundo processamento de grande importância foi o cálculo da matriz global de transições de uso da terra. Este cálculo é efetuado através do cruzamento dos mapas de uso da terra em 1986 e 2000, o qual visa à obtenção de um diagnóstico das mudanças ocorridas no período de 14 anos, entre as duas datas, quanto ao uso das terras na área de estudos.

O cruzamento foi realizado através do processamento “Crosstabulation” do IDRISI, que consiste, basicamente, em sobrepor os dois mapas e compará-los *pixel a pixel*, avaliando a classe de uso da terra no mapa de 1986 e avaliando a classe de uso da terra no mapa de 2000. Desta forma, é possível saber se a classe se manteve ou foi alterada. Em caso de ter se alterado, para que outra classe foi esta alteração.

---

<sup>9</sup> Na tabela foram incluídos também as variáveis Dependentes “uso do solo em 1986” e “uso do solo em 2000” apenas como forma de avaliar a associação entre os mapas. Algumas variáveis utilizadas mais tarde no experimento do modelo dinâmico não foram calculadas, já que naquele momento os dados para tal não estavam ainda disponíveis. Os nomes das variáveis estão abreviados conforme a Tabela 6.

O procedimento “crosstabulation” apresenta como saída de dados um mapa, chamado de **mapa de transições** (ou mapa de cruzamento) e uma tabela, chamada de matriz de transições. Transições, neste caso, seriam exatamente as modificações nas classes de uso da terra do mapa de 1986 para o mapa de 2000.

Este procedimento gera o que se chama de matriz global de transições, já que estas transições são uma contabilização de todo o período de tempo compreendido pela pesquisa. Mais à frente, será calculada e apresentada a matriz anual de transições, a qual se refere à fração anual média.

### 3.2.3.3 Matriz anual de transições

A matriz anual de transições de uso da terra é um passo importante em direção ao modelo de uso da terra. Este procedimento visa à obtenção das taxas de mudança de uma classe de uso da terra para as demais classes, de forma média, em uma fração anual do período completo.

Para realizar este cálculo utilizou-se o método proposto por Bell e Hinojosa (1977) citado em Almeida e outros (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003).

Neste método, o cálculo da matriz anual de transições é realizado através do cálculo das Componentes Principais, segundo a seguinte equação:

$$MT_{anual} = H.V^{\frac{1}{n}}.H^{-1} \quad (4)$$

Onde:

$MT_{anual}$  = Matriz anual de transições de uso da terra entre 1986 e 2000

$H$  = auto-vetores da matriz global de transições

$V$  = auto-valores da matriz global de transições

$n$  = número de passos anuais dentro do período total = 14

$H^{-1}$  = matriz inversa de auto-vetores da matriz global de transições

Este procedimento foi realizado com o programa estatístico “R”, com as informações passadas gentilmente pela Cláudia Almeida.

### 3.2.3.4 Cálculo de probabilidades de transição

Considerando que ocorrem transições de uso da terra, este procedimento, conhecido com “método de pesos de evidência”, visa a calcular a probabilidade de determinada transição ocorrer, dadas algumas condições. O método é baseado no “Teorema de Bayes”, que trata da possibilidade de um evento ocorrer, dado que outro evento, independente do primeiro, já ocorreu. Neste procedimento, utilizou-se o método descrito por Almeida e outros (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003) e citado em Soares e outros (SOARES FILHO; CORRADI FILHO; CERQUEIRA; ARAÚJO, 2003).

Este procedimento visa a calcular as probabilidades de transição de cada uma das classes de uso da terra para outras classes, o que permite alimentar o modelo dinâmico com informações, de forma que seja possível operar as mudanças no modelo, gerando, então, os cenários futuros.

Em Almeida (2003), encontra-se a descrição de todo o método, bem como a derivação algébrica para chegar às equações de cálculo dos pesos de evidência:

$$\log \left( \frac{P(R|A)}{P(R)} \right) = W \quad (5)$$

Nesta equação, o termo antes do sinal de igual é o logaritmo natural da probabilidade de ocorrer R, dado que a condição A já ocorreu. O termo depois do sinal de igual é o logaritmo natural de R, mais o peso de evidência W<sup>+</sup>.

O peso de evidência equivale à razão de suficiência, uma relação entre a probabilidade do evento R ocorrer e a probabilidade dele não ocorrer.

Para calcular, na prática, os pesos de evidência, é necessário, a princípio, realizar algumas operações para obter uma quantificação de transições de uso da terra em relação a cada variável de uso da terra, ou seja, é preciso saber se, dado que ocorreram mudanças no uso da terra, determinada variável está ou não ligada a este evento.



Uma transição de uso da terra é, por exemplo, agropecuária para reflorestamento. Nesta transição, uma determinada área de terra era, em um determinado momento, coberta por pastagem e, em um momento seguinte, observou-se que a pastagem tinha dado lugar a reflorestamento.

Considerando, então, uma determinada transição de uso da terra, pode-se ter, a princípio, três situações: 1) a transição se realizou da classe de origem para a classe de destino; 2) a transição se realizou da classe de origem para qualquer outra que não a de destino e; 3) a transição não ocorreu, a classe de destino é a mesma da origem.

Isto posto, foi necessário realizar uma série de processamentos com o mapa de transições (ver item 3.2.3.2), reclassificando-o para que representasse as regras expostas no parágrafo anterior. O mapa de transições foi reclassificado um número de vezes igual ao número de transições identificadas (15 transições ao todo).

Como exemplo, usaremos a reclassificação do mapa de transições, considerando a transição “agropecuária-reflorestamento”. É preciso identificar quantos *pixels* do mapa eram agropecuária e se transformam em reflorestamento (estes *pixels* receberão a cor preta); quantos eram agropecuária e se transformaram em outras classes que não reflorestamento (estes *pixels* receberão a cor vermelha) e, por fim, quantos *pixels* não eram agropecuária (estes receberão a cor branca).

A reclassificação é realizada no IDRISI, através de dois procedimentos: inicialmente, um comando ASSIGN, que funciona a partir da geração de um arquivo de regras gravado com a extensão “**.avl**”, cujo conteúdo são as regras a serem seguidas pelo programa para, a partir do mapa de transições, gerar um novo sobre a transição em questão. Para cada uma das transições identificadas no item 3.2.3.2. foi necessário gerar um arquivo “**.val**”, gerado pelo comando EDIT no IDRISI. A Figura 6 apresenta um exemplo do arquivo de regras e a Figura 7 apresenta um exemplo do mapa gerado a partir dele.

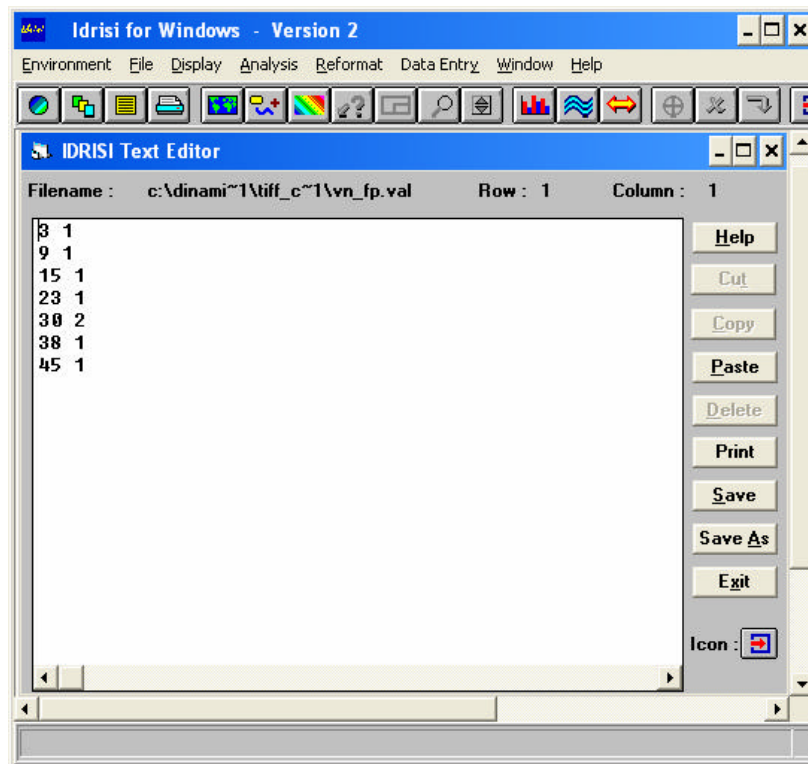
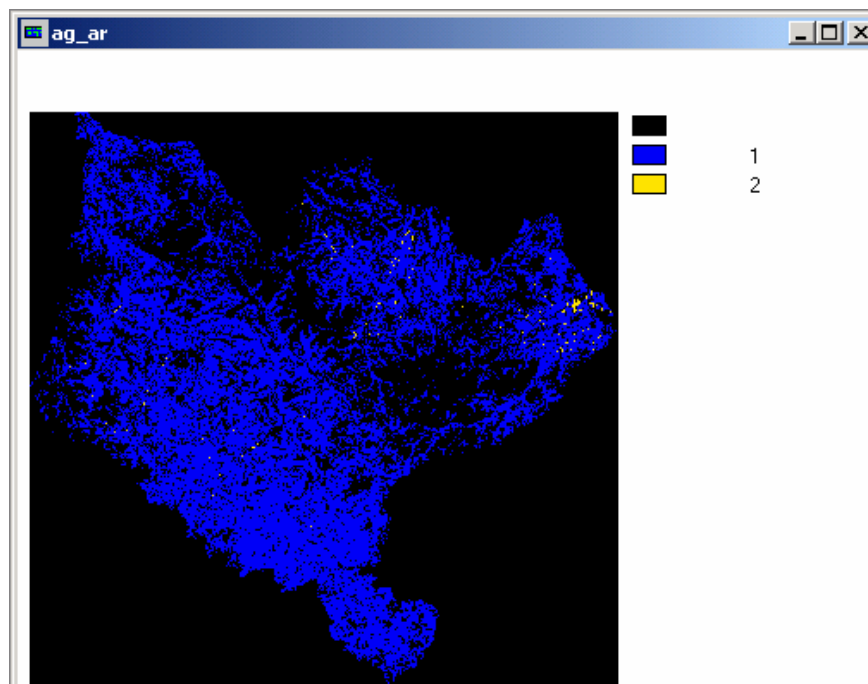


Figura 5 – Exemplo de arquivo de regras para a transição no IDRISI.

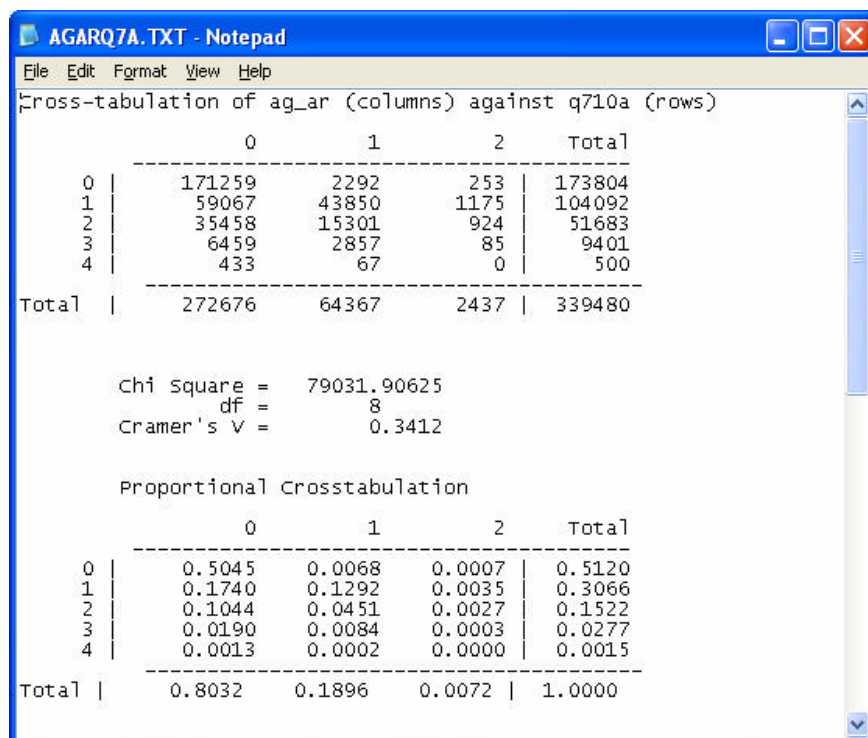


Na legenda a cor amarelo (2) classe origem para classe de destino, cor azul (1) classe de origem para outras classes e cor preta (0) – outras classes.

Figura 6 – Exemplo de mapa de reclassificação gerado pelo arquivo de regras da Figura 6.

Após a reclassificação, é realizado, mais uma vez, o procedimento de cruzamento dos mapas. O objetivo agora é, considerando cada uma das transições, identificar que variáveis estão mais ou menos associadas com elas.

Desta vez, cada mapa gerado a partir da reclassificação anterior é cruzado com cada um dos mapas de variáveis, originando uma matriz de análise de mudanças. A análise desta matriz permite identificar o número de *pixels* que, considerando a transição a que o mapa reclassificado se refere, migrou da classe de origem para a classe de destino ou migrou para outra classe qualquer. Isto em cada uma das classes da variável utilizada no cruzamento. A Figura 8 apresenta um exemplo da matriz de análise de mudanças.



AGARQ7A.TXT - Notepad

File Edit Format View Help

Cross-tabulation of ag\_ar (columns) against q710a (rows)

	0	1	2	Total
0	171259	2292	253	173804
1	59067	43850	1175	104092
2	35458	15301	924	51683
3	6459	2857	85	9401
4	433	67	0	500
Total	272676	64367	2437	339480

Chi Square = 79031.90625  
df = 8  
Cramer's V = 0.3412

Proportional Crosstabulation

	0	1	2	Total
0	0.5045	0.0068	0.0007	0.5120
1	0.1740	0.1292	0.0035	0.3066
2	0.1044	0.0451	0.0027	0.1522
3	0.0190	0.0084	0.0003	0.0277
4	0.0013	0.0002	0.0000	0.0015
Total	0.8032	0.1896	0.0072	1.0000

Figura 7 – Exemplo da matriz de análise de mudanças do IDRISI.

O cálculo dos pesos de evidência foi realizado utilizando-se o método acima em uma planilha de cálculo (Microsoft Excel), organizada por Britaldo Silveira Soares (UFMG-CCR) e cedida gentilmente por Cláudia Almeida (INPE).

### 3.2.3.5 Associação entre as transições de uso da terra e os fatores de mudança

Para se conhecer quais fatores de mudança atuam sobre cada uma das transições de uso da terra, é necessário avaliar o grau de associação entre cada transição e cada variável do conjunto de variáveis utilizadas no estudo.

A partir do cálculo dos pesos de evidência é possível avaliar a associação existente entre cada uma das transições de uso da terra encontradas na área de estudo e os respectivos fatores de mudança. A avaliação da associação é realizada comparando os conjuntos de dados quantitativos das variáveis com o conjunto de pesos de evidência gerados. Um peso de evidência positivo ( $W+$ ) indica atração entre os dados, enquanto que um peso negativo ( $W-$ ) indica repulsão.

Na prática, a planilha de cálculo que calcula os pesos de evidência também permite avaliar as correlações através da plotagem dos conjuntos de dados em gráficos do tipo “xy”, conforme mostra a Figura 9.

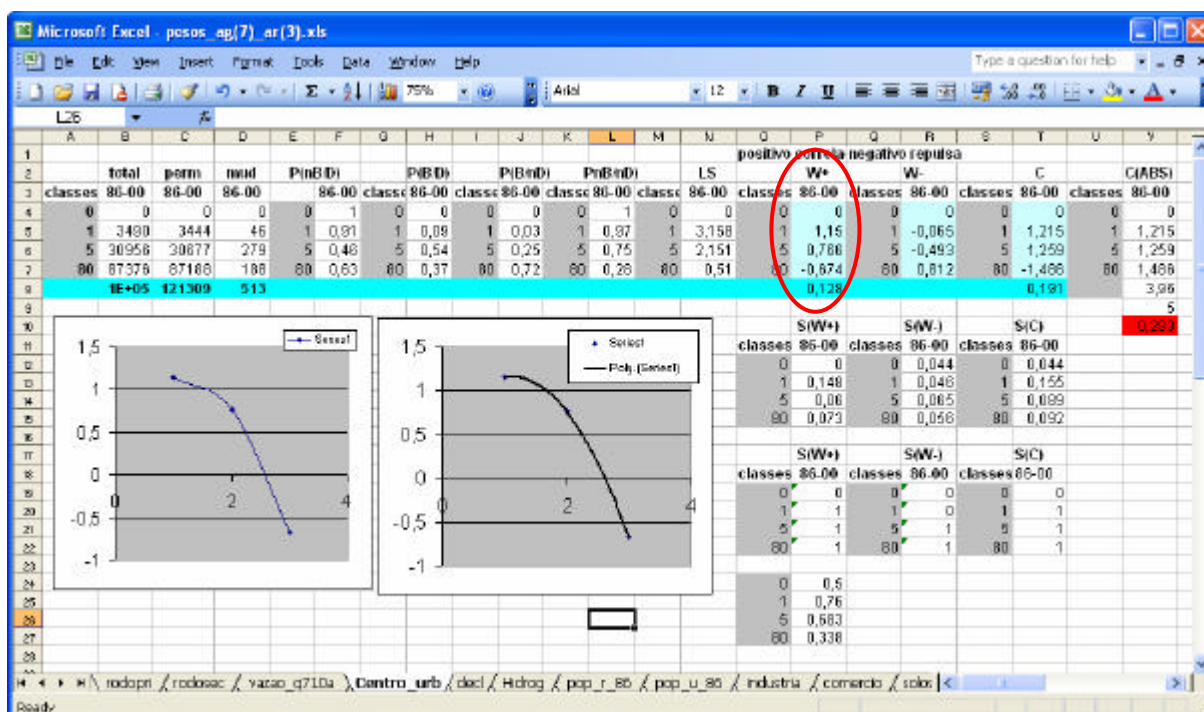


Figura 8 – Exemplo de planilha de cálculo para cálculo de pesos de evidência ( $W+$ ) e avaliação de correlações (gráficos) entre transições e fatores de mudança.

### 3.2.4 Modelo Matemático Computacional

O modelo matemático computacional utiliza praticamente toda a estrutura e informações acima descritas para sua realização. O modelo é basicamente uma forma de moldar a realidade da área de estudos através de técnicas de matemática, informática e geografia, visando a estudá-la e compreender certos processos de interesse. Trata-se, sem dúvida, de uma simplificação e, muitas vezes, de uma redução. Porém o modelo, desde que utilizado de forma criteriosa, pode auxiliar a compreensão de fenômenos e processos. O modelo ainda pode permitir a geração de cenários futuros que permitam avaliar respostas do sistema a determinadas modificações nos fatores, induzidas pelo ser humano ou pela natureza.

A aplicação das técnicas de modelagem prevê o domínio de diversas áreas de conhecimento. Os modelos dinâmicos, por sua vez, exigem o conhecimento da matemática, informática, geografia, cartografia, além do domínio temático da área do conhecimento sobre a qual o modelo trata.

O uso de modelos dinâmicos tem sido desenvolvido desde a década de 1950, mas, com o advento da informática de pequenos computadores na década de 1990, houve um aquecimento no assunto, a partir do qual ocorreram novos desenvolvimentos das técnicas de modelagem dinâmica, especialmente sua aplicação ao estudo das mudanças no uso da terra.

Como base metodológica para o desenvolvimento do modelo, neste trabalho, foram utilizados os trabalhos de Almeida e outros, Soares Filho e outros (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003, ALMEIDA et al, 2002, SOARES FILHO, ARAÚJO e CERQUEIRA, 2001, SOARES FILHO, CORRADI FILHO, CERQUEIRA e ARAÚJO, 2003).

Um dos maiores problemas metodológicos para aplicação de modelos, dado que é necessário o domínio de um grande número de áreas do conhecimento e de suas técnicas específicas, é a concepção matemática e computacional do modelo. Em função disso, optou-se por selecionar um modelo já desenvolvido sob o ponto de vista matemático-computacional e ajustá-lo às necessidades deste trabalho. Isto apresenta um ponto

negativo, que é exatamente a pequena liberdade de modelar conforme a necessidade estabelecida pelas perguntas de pesquisa, bem como pelas características na área de estudos, seu tamanho, as variáveis disponíveis, etc. Por outro lado, seria impraticável fazer tudo ao mesmo tempo, ou seja, desenvolver o modelo e aplicá-lo a um determinado caso.

Assim, foi selecionado, após diversas pesquisas e buscas, um modelo desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) chamado de “DINÂMICA”. (SOARES FILHO, ARAÚJO e CERQUEIRA, 2001, SOARES FILHO, CORRADI FILHO, CERQUEIRA e ARAÚJO, 2003, SOARES FILHO e OUTROS, 2002a e 2002b).

O DINÂMICA é um modelo dinâmico de autômatos celulares. Tem como característica ser estruturado a partir de uma matriz de células que pode ter uma ou mais dimensões. Conforme foi visto resumidamente no item 2.5, os modelos celulares têm como característica principal permitirem uma modelagem da realidade de forma a considerar uma certa dinamicidade no processo ou fenômeno a ser modelado. Assim, sobre as células do modelo, processos se desenvolvem imprimindo movimentos que se assemelham a seres animados. O estado de uma célula está em função de si próprio, de certas condições, bem como do estado das células vizinhas. Um determinado algoritmo faz com que o sistema celular avalie a mudança de estado de cada célula a cada iteração do modelo. Desta forma, a cada novo tempo “vivido” pelo sistema celular, um novo padrão de estado pode ser observado nas células. A Equação 6 representa o funcionamento do modelo.

$$X_{t?v} = f(X_t, V_t) \quad (6)$$

Os modelos trabalham com três componentes básicos: 1) uma configuração inicial; 2) uma função de mudança e 3) uma configuração de saída. (Soares Filhos, 2003).

A função de mudança é resultado de uma matriz de transição de classes de uso da terra, a qual é representada pela equação 7, já que o modelo trabalha com imagens raster, que podem ser consideradas matrizes bidimensionais de números (*pixels*).

$$\begin{matrix}
 P_{11} & P_{21} & P_{\dots 1} & P_{J1} & P_{1J} \\
 P_{12} & P_{22} & P_{\dots 2} & P_{J2} & P_{1J} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 P_{1J} & P_{2J} & P_{\dots J} & P_{JJ} & P_{1J}
 \end{matrix}
 \quad (7)$$

A matriz  $P_{ij}$  é a matriz de transição, onde as colunas representam as probabilidades de um determinado estado  $i$  permanecer no mesmo estado ou mudar para o estado  $j$  durante o intervalo de tempo  $t \rightarrow t+v$ .

O modelo dinâmica trabalha com probabilidades de transições calculadas pelo método de pesos de evidência. Sendo assim, o cálculo de probabilidades *a posteriori* da transição  $i \rightarrow j$  ocorrer, é expresso pela equação 8.

$$P(i \rightarrow j(x,y)/V) = \frac{e^{W_{kn} \cdot j(V)^{xy}}}{1 + \sum_{ij} e^{W_{kn} \cdot j(V)^{xy}}} \quad (8)$$

Na equação 3,  $V$  representa um vetor de  $k$  variáveis espaciais, medidas nas localidades  $x,y$  e representadas por seus pesos  $W_{k1xy}, W_{k2xy}, \dots, W_{knxy}$ , sendo  $n$  o número de categorias de cada variável  $k$ .

O programa DINÂMICA utiliza o ambiente celular bidimensional, tem como entradas um conjunto de mapas e de dados numéricos. Como se trata de um modelo de simulação de uso da terra, cada célula do modelo assume estados que são, na verdade, as classes de uso da terra observadas na área em estudo.

Os mapas inseridos no modelo são os seguintes:

- ? **Mapa de Paisagem** – é o mapa de uso da terra no início do período de tempo considerado;
- ? **Mapa de Sojourn** – traz a informação de tempo que cada célula permanece num determinado estado antes de mudar para outro estado;

- ? **Mapa de Variáveis:** – é o conjunto dos mapas de variáveis que controlam as mudanças no mapa de paisagem e podem ser estáticas ou dinâmicas. As estáticas são invariáveis ao longo do tempo e as dinâmicas necessitam ser calculadas novamente a cada iteração do modelo, já que sofrem mudanças.

O DINÂMICA também recebe como insumo para “rodar” uma “matriz de transições entre as classes de uso da terra”, ou seja, calcula-se qual o percentual de transição observado anualmente de cada uma das classes de uso da terra para cada uma das demais classes.

Por fim, o modelo exige a entrada de uma matriz de probabilidades baseada em cálculos probabilísticos entre as variáveis utilizadas como fatores de mudanças. Esta matriz é conhecida como “matriz de pesos de evidências” e será utilizada pelo modelo para calcular um “mapa de probabilidades” de cada célula se transformar em qualquer uma das classes de uso da terra.

O modelo, a cada iteração, produz um novo mapa de paisagem, um novo mapa de probabilidades e um novo mapa de variáveis dinâmicas.

O DINÂMICA utiliza como processos para controlar as mudanças no uso da terra dois algoritmos complementares – *patcher* e *expander*. O algoritmo *expander* produz a expansão das manchas já existentes ou a redução das mesmas, enquanto o *patcher* produz novas manchas. Estes algoritmos funcionam com alguns parâmetros de entrada – isometria, variância e tamanho médio das manchas - além da definição do percentual de participação de cada um dos processos no modelo. Ainda, é possível controlar a quantidade máxima de ocorrência de determinada transição a partir do parâmetro saturação, que determina a quantidade mínima de cada uma das classes de uso da terra no final do processo. Atingida esta quantidade mínima, o modelo não produz mais as transições que tem esta classe como origem.

A Figura 10 apresenta um fluxograma das etapas para operação com modelos. Na figura, é possível observar desde as etapas iniciais para arranjo das informações até a obtenção de resultados na previsão de cenários.



As etapas de 1 a 5 apresentadas na Figura 10 foram descritas acima, sob os títulos de ‘Sistemas de informação geográfica’, “Mapeamento de uso da terra” e “Análise de dados no SIG e métodos estatísticos”. A etapa 5 é, basicamente, o cálculo da matriz de pesos de evidência.

Para a avaliação dos resultados apresentados pelo modelo e portanto para as correções de curso necessárias, alguns métodos são aceitos. Os métodos quantitativos são mais onerosos (TURNER, COSTANZA e SKLAR, 1989). Os métodos qualitativos são mais rápidos e de fácil realização (ALMEIDA, 2003). Apesar da possibilidade de questionamento de sua validade em função de que passam a depender, grande parte, da avaliação subjetiva do pesquisador. A etapa de número 6 foi realizada, diversas vezes, empiricamente através de execução seqüencial do modelo, introduzindo os parâmetros com pequenas alterações a cada execução. A cada vez que o modelo era executado, avaliava-se o resultado, comparando-o com o mapa de uso da terra em 2000, já que o objetivo era atingir, através do modelo, um cenário o mais próximo possível daquele mapa. Não foi utilizado método quantitativo para avaliar os resultados.

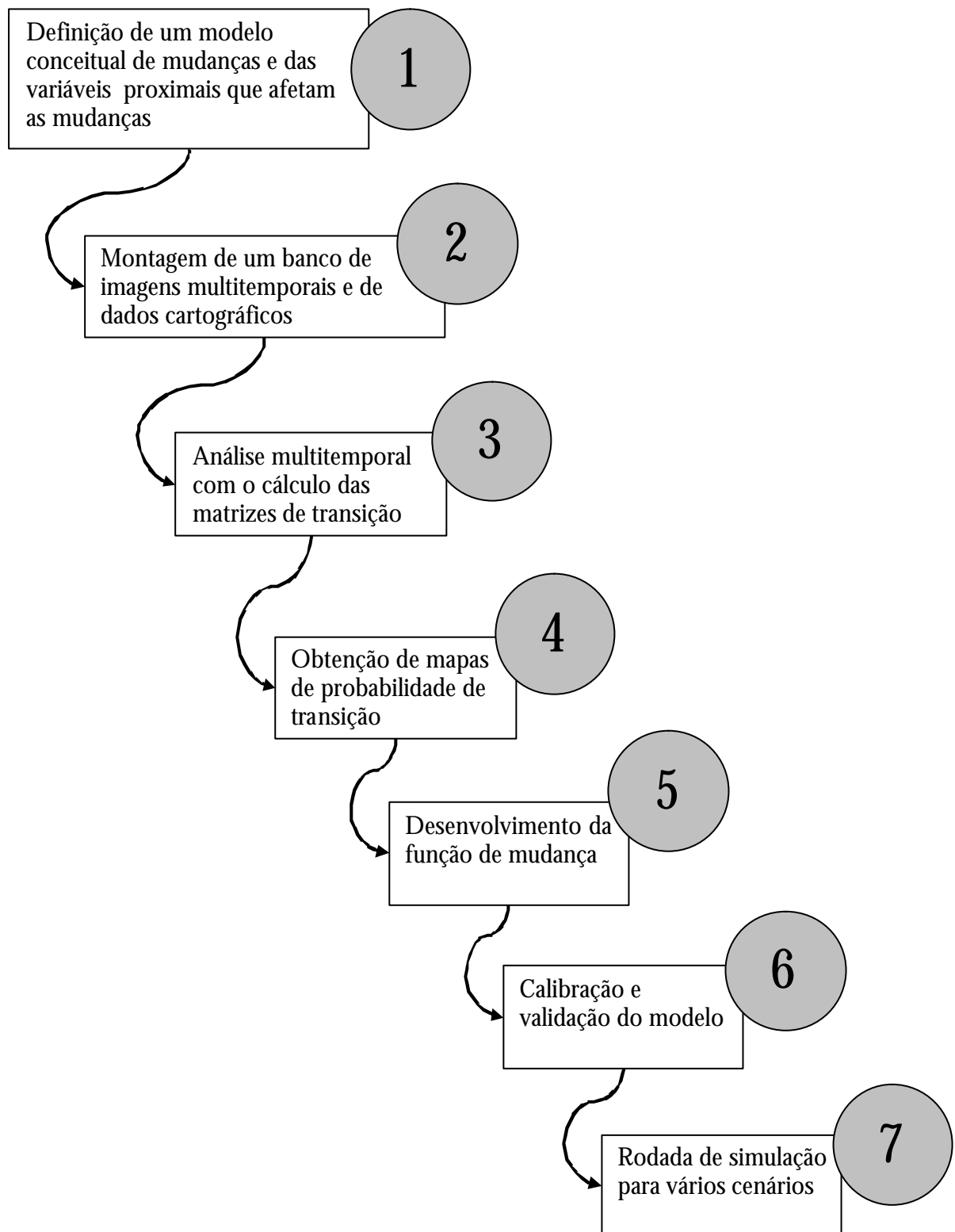


Figura 9 - Fluxograma de desenvolvimento e aplicação de um modelo de simulação (Fonte: Soares Filho e outros, 2002a).

## 4 *Resultados e produtos*

A seguir são apresentados os resultados alcançados neste trabalho, os quais dizem respeito à organização das informações e à sua análise. O trabalho teve como produto científico a análise da problemática proposta no início e a checagem das hipóteses colocadas. Como produto de desenvolvimento, o trabalho organizará um sistema de informações geográficas para o Vale do Itajaí, com a inserção de um número considerável de informações geográficas e ambientais.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir. Eles foram organizados em cinco partes. A primeira parte conta com os resultados do **Sistema de Informações Geográficas** e toda a cartografia utilizada no SIG. Nesta parte, estão os resultados da coleta de informações já existentes em fontes primárias, especialmente mapas, bem como as informações derivadas destas fontes. Na segunda parte, estão os resultados do **mapeamento de uso da terra realizado**. Na terceira parte, estão os resultados das **análises** realizadas no ambiente do SIG e na aplicação de métodos estatísticos para a avaliação de mudanças no uso da terra e para o estudo das correlações destas mudanças com as diversas variáveis físico-naturais, sociais e econômicas. Na quarta parte, estão os resultados da construção de um **modelo** matemático computacional para a mudança no uso da terra. Na quinta e última parte, são apresentados os resultados das **mudanças no uso da terra** propriamente dita.

### 4.1 **Resultados do Sistema de Informações Geográficas, Cartografia e Mapeamento de uso da terra**

Um dos resultados deste trabalho foi a organização de um SIG. Apesar de não apresentar resultados que respondam diretamente às questões de pesquisa, o SIG foi fundamental para a realização do trabalho como um todo, permitindo organizar todas as informações em uma base comum, utilizando uma referência cartográfica, dando consistência e facilitando as análises através de ferramentas automáticas.

O SIG organizado tem a referência cartográfica do IBGE, órgão normatizador da cartografia brasileira, utilizando como base cartográfica as Folhas da Carta do Brasil na escala 1:50.000, Datum SAD69 e Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

O SIG conta com diversos mapas, além dos 13 mapas utilizados diretamente neste trabalho. Além disso, o SIG contém o modelo digital de elevações do terreno, que permite análises em três dimensões, como análises de declividade, aspecto do terreno e análises de bacias hidrográficas.

Foram produzidos oito mapas a partir de informações de diversas fontes, conforme é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Relação de mapas produzidos. Fonte: organização do autor. <sup>10</sup>

	Nome do Mapa	Número do mapa nos Anexos
1	Declividade do terreno	4.1.1
2	Distâncias de centros urbanas	4.1.2
3	Distâncias dos cursos d'água	4.1.3
4	Distâncias de rodovias primárias	4.1.5
5	Distâncias de rodovias secundárias	4.1.6
6	Número de estabelecimentos comerciais por município	4.1.7
7	Número de estabelecimentos industriais por município	4.1.8
8	Mapa de Uso da terra em 1986	4.1.10

Os resultados alcançados no SIG permitiram a organização de um banco de dados com características adequadas ao processo de modelagem do uso da terra, apesar de contar, ao final, com um número relativamente pequeno de informações, principalmente em função da dificuldade de obtenção de dados de qualidade e adequados aos objetivos deste

<sup>10</sup> Os demais mapas apresentados em anexo não foram produzidos totalmente neste trabalho.

trabalho. Mesmo assim, os resultados obtidos demonstram uma adequação da metodologia empregada, tanto em termos de recursos materiais, programas, quanto em termos de procedimentos metodológicos.

A cartografia, por outro lado, é a base do funcionamento do SIG. A geração de uma cartografia digital adequada a trabalhos como este é um processo moroso e exigente em termos de recursos humanos. A obtenção dos dados básicos, a geração de uma cartografia digital e o subsequente tratamento destes mapas, adequando-os às necessidades deste trabalho, tomou grande parcela do tempo despendido.

Quanto aos resultados do mapeamento do uso da terra em 1986, nos anexos apresenta-se o mapa resultante deste processo. O objetivo foi obter um mapa de uso da terra em uma data passada, definindo um período de tempo significativo para avaliar a dinâmica no uso da terra. Desta forma, partindo-se de um mapa de uso da terra de 2000 organizado por Vibrans, obteve-se um mapa de uso da terra em 1986, determinando um período de 14 anos de análise, relativamente significativo para avaliar alterações no uso da terra (VIBRANS, 2003).

O mapeamento foi realizado através da classificação automática de imagens de satélite LANDSAT TM5 de 1986 com revisão por interpretação manual para classes que apresentavam certa confusão.

Os resultados do mapeamento do uso da terra, em 1986, através da interpretação automática da imagem de satélite podem ser visualizados com maiores detalhes à frente (ver item 4.2). Apresenta-se, a seguir, apenas os resultados da quantificação para o mapa de uso da terra em 1986, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados do mapeamento do uso da terra em 1986 em dados absolutos (km<sup>2</sup>) e relativos (%).

Classe de Uso da Terra em 1986	Este estudo	
	km <sup>2</sup>	%
Área Não Identificada	57,75	0,40
Águas	13,6875	0,09
Arrozeiras	32,1875	0,22
Cidades	150	1,04
Reflorestamento	184,3125	1,28
Vegetação Natural	6379,875	44,22
Agropecuária	7609,75	52,74
Total em 1986	14427,5625	100,00

Observa-se que a classe de maior expressão é a Agropecuária com mais da metade da área de estudos (52,74%), o que representa 7609,75 km<sup>2</sup>, seguida da classe Florestas naturais com 44,22% ou 6379,87 km<sup>2</sup>. Estas duas classes, em conjunto, somam mais de 90% das terras da área de estudos. As demais classes apresentam percentuais menores.

Vibrans (VIBRANS, 2003), utilizando a metodologia SAVImir (Soil Adjusted Vegetation Index – Índice de vegetação ajustado pelo solo), encontrou valores menores para a classe Agropecuária. O autor, utilizando uma área de trabalho parecida e as mesmas imagens de satélite do ano de 2000, encontrou 5700 km<sup>2</sup> aproximadamente para a somatória das classes de ocupação do solo (Águas + Arrozeiras + Cidades + Reflorestamento + Agropecuária) que chama de “área ocupada”. Tal diferença deve-se quase que com certeza à diferença de metodologia de interpretação das imagens. A Tabela 12 apresenta uma comparação dos resultados de Vibrans com os números deste estudo.

Tabela 12 – Comparação entre os resultados deste estudo e de Vibrans (2003) para o mapeamento de uso da terra em 1986.

	Este estudo		Vibrans	
	Km2 em 1986	% em 1986	Km2 em 1986	% em 1986
Área ocupada	7989,9	55,38	9231,1	61,8
Área não ocupada	6437,6	44,62	5703,7	38,2
Total	14427,5	100	14934,8	100

Este estudo utilizou o método de interpretação da imagem por classificação automática utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER). A interpretação apresentou confusão entre os temas Vegetação Natural e Agropecuária, especialmente no que diz respeito à Vegetação Natural em estágio inicial, que apresentava tonalidades muito próximas da Agropecuária. Esta confusão pode também ajudar a explicar as diferenças encontradas entre os dois estudos. Apesar disto, a diferença de 7% encontrada entre os dois estudos não compromete as análises de mudança de uso da terra, já que as tendências de transições de uso da terra em ambos os estudos são bastante parecidas.

Um outro problema encontrado na interpretação das imagens de satélite, sem relação com o anterior, foi a ocorrência de uma certa cobertura de nuvens o que originou a classe Área não identificada. As nuvens ocorriam sobre o município de Brusque e comprometeram os resultados apenas no local, sem interferir significativamente sobre todo o estudo.

#### 4.2 Resultados das mudanças no uso da terra

Mudanças de uso da terra são compreendidas como sendo as transformações sofridas pelo uso das terras ao longo de um determinado período de tempo. Em ambientes muito dinâmicos, o uso da terra sofre transformações mais rápidas e mais profundas do que em ambientes menos dinâmicos.

O presente estudo considerou um período de 14 anos, iniciando em 1986 e finalizando em 2000, definido em função da disponibilidade de imagens de satélite, primordiais para a obtenção de informações na forma necessária ao método proposto.

Os resultados obtidos podem ser divididos em dois grupos. O primeiro grupo é composto pelos resultados do mapeamento do uso da terra em 1986 comparados com os resultados obtidos por Vibrans (2003), também através de mapeamento por imagens de satélite. O segundo grupo de resultados diz respeito à análise dos dois mapas de uso da terra pelo cruzamento, mostrando informações mais completas sobre a dinâmica, indicando, por exemplo, as transições no uso da terra.

A Tabela 13 contém as informações básicas sobre mudanças de uso da terra na área de estudos, informando sobre o percentual de mudança de uma forma geral.

Tabela 13 – Quantificação de mudanças gerais de uso da terra na área de estudo. Fonte: elaboração do autor.

	Km <sup>2</sup>	%
Superfície da Área de Estudos	14443,74	100,00
Superfície que <b>não sofreu</b> mudança no uso da terra	10186,18	70,52
Superfície que <b>sofreu</b> mudança no uso da terra	4257,56	29,48

As informações mostram que aproximadamente 30% das terras teriam sofrido algum tipo de transição de uso da terra, o que indica uma dinâmica significativa, especialmente se consideradas as condicionantes geomorfológicas da área estudada, caracterizadas por um terreno bastante movimentado.

Os resultados obtidos na quantificação dos mapeamentos de uso da terra estão apresentados na Tabela 14, a qual contém as classes de uso da terra e as respectivas quantidades de superfície absolutas (em km<sup>2</sup>) e relativas (em percentual) para 1986 e 2000. A tabela contém ainda informações sobre o crescimento absoluto e relativo das quantidades observadas em 1986.

Os resultados podem ser observados nas Figuras 11 a 13, gráficos que permitem uma comparação visual dos resultados. É importante lembrar que a área de estudos quase coincide com a bacia hidrográfica do rio Itajaí, diferindo apenas naqueles municípios que



apresentavam uma pequena parcela dentro da bacia, sendo, estes, excluídos do estudo. A área da bacia do rio Itajaí é de aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup> e a área de estudos conta com 14.444 km<sup>2</sup>.

Tabela 14 – Classes de uso da terra e respectivas superfícies relativas e absolutas. Fonte: elaboração do autor.

Classe de Uso da Terra	km <sup>2</sup> em 1986	km <sup>2</sup> em 2000	% em 1986	% em 2000	Dif. Ptos.%	Dif. rel. para 1986	Dif. Abs. para 1986 (km <sup>2</sup> )
Área Não Identificada – ANI	125,51	0	0,87	0,00	-0,87	-100,00	-125,52
Águas – A	42,53	74,30	0,29	0,51	0,22	74,67	31,76
Arrozeiras – AR	101,12	239,35	0,70	1,66	0,96	136,68	138,22
Cidades – C	182,49	403,13	1,26	2,79	1,53	120,90	220,64
Florestas plantadas e culturas de ciclo longo – FP	130,48	282,03	0,90	1,95	1,05	116,14	151,55
Vegtação Natural – VN	7395,81	8993,20	51,20	62,24	11,04	21,60	1597,38
Agropecuária – AG	6465,75	4456,60	44,77	30,84	-13,92	-31,07	-2009,15
Total em 1986	14443,74	14448,62	100,00	100,00			

Através dos resultados apresentados na Tabela 12 e nas Figuras 11 a 13, é possível observar uma dinâmica considerável quanto ao uso da terra entre 1986 e 2000. Tal dinâmica pode ser exemplificada pelas transformações ocorridas na classe **Vegtação Natural**, que aumentou mais que 11 pontos percentuais, passando de 51,20% para 62,24% da área estudada.

Outra transformação muito importante observada foi a grande redução no uso para a classe **Agropecuária**, que passou de 44,77% para 30,84% da área de estudos.

Estas duas transformações no uso do solo merecem atenção em função de sua participação na área total estudada, já que as classes juntas significam mais de 90% da superfície.

Outras transformações importantes, não em função de sua área absoluta, mas de forma relativa, foram, em primeiro lugar, o crescimento das **Arrozeiras**, que tiveram incremento em superfície de quase 140%, o que significa que cresceram pouco menos de uma vez e meia sua área de 1986 para 2000. Depois, o crescimento da classe **Florestas plantadas e culturas de ciclo longo**, aqui inserido, por exemplo o eucalipto e os bananais. Esta classe teve um crescimento de mais de 110%, mais que dobrando sua área de 1986 para 2000. Por último a classe **Cidades**, que teve um significativo aumento de aproximadamente 120% entre 1986 e 2000.

A classe **Área não identificada** apareceu somente no mapeamento de 1986, em função da ocorrência de nuvens na imagem de satélite utilizada para esta data. Na imagem de 2000, não foi encontrada esta classe. A classe **Águas** apresentou um aumento significativo de 1986 para 2000, o que pode ser atribuído às diferenças climáticas das duas datas de passagem do satélite.

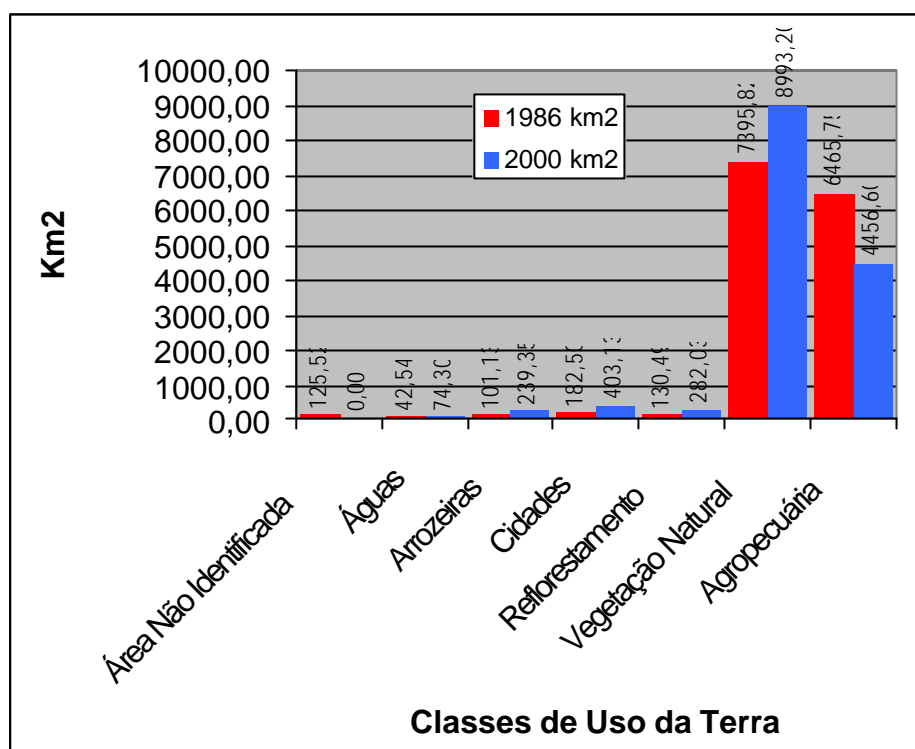


Figura 10 – Classes de uso da terra em 1986 e 2000 em Km². Fonte: elaboração do autor.

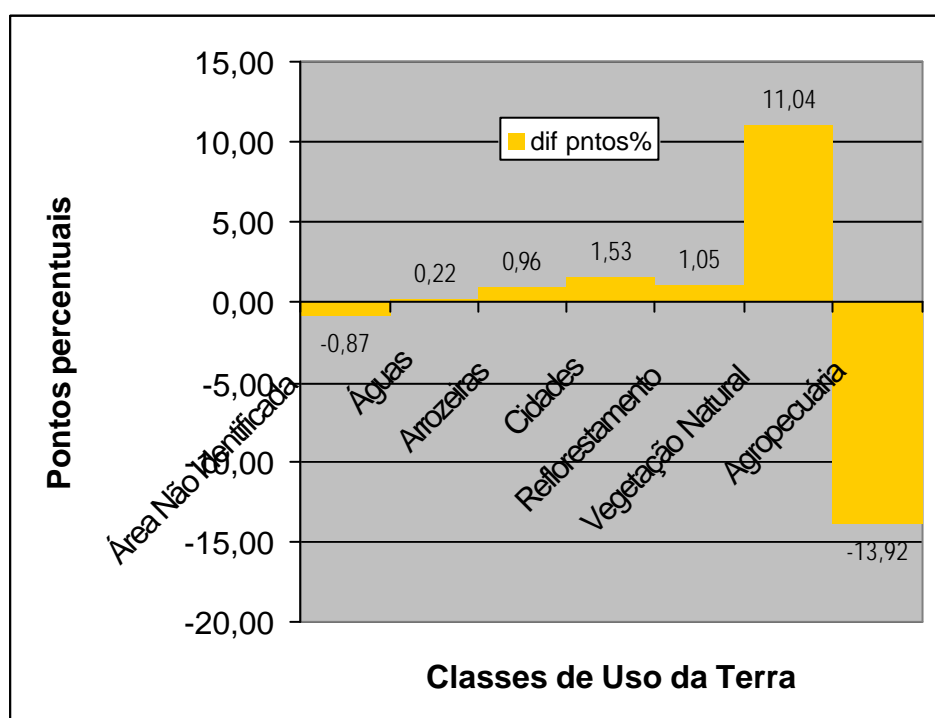


Figura 11 – Classes de uso da terra – diferenças entre 2000 e 1986 em pontos percentuais. Fonte: elaboração do autor.

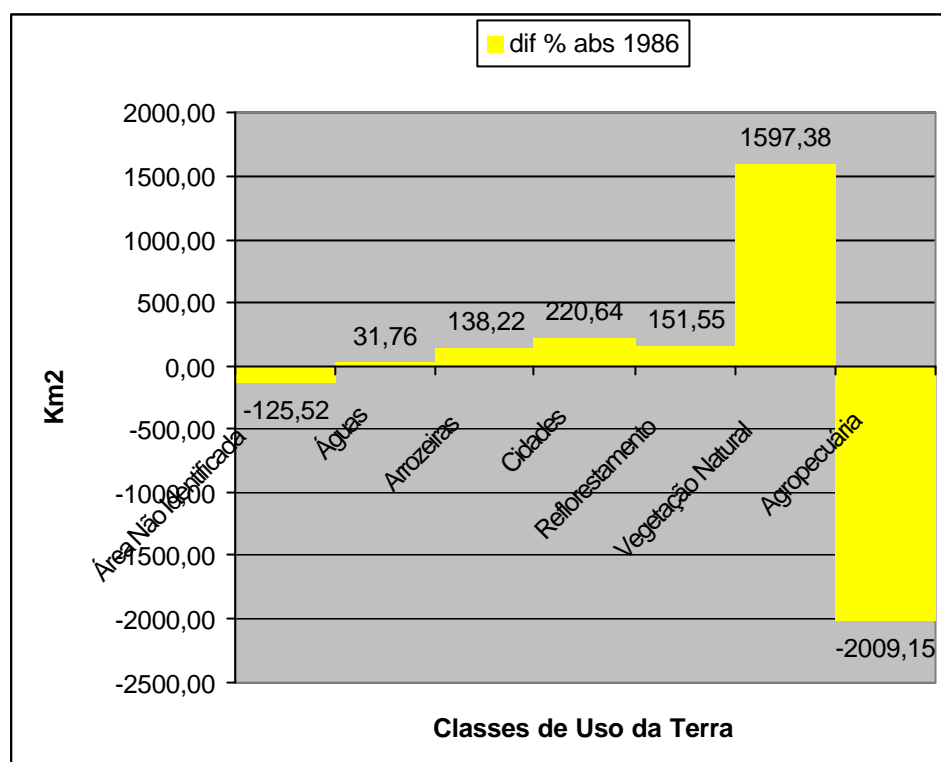


Figura 12 – Classes de uso da terra – diferenças absolutas de 2000 em relação a 1986 em Km². Fonte: elaboração do autor.

O segundo grupo de resultados para mudanças de uso da terra permite saber um pouco mais sobre a dinâmica, especialmente sobre o destino das terras durante as mudanças, permitindo gerar análises sobre as causas das mudanças. Analisa-se aqui apenas os resultados em termos de transição, sendo que uma análise das possíveis causas será objeto do Item 4.7.

A Tabela 15 apresenta a lista de transições de uso da terra identificadas na área de estudos. As transições de uso da terra são compreendidas como o evento de transformação de uma classe para outra ocorrida entre duas datas. As transições explicam mais sobre a dinâmica porque permitem saber a origem e o destino quanto às classes de uso da terra.

Tabela 15 – Transições de uso da terra na área de estudo entre 1986 e 2000 e respectivos valores anuais (médios estimados) de transição. Fonte: elaboração do autor.

	1986	2000	Taxa anual de transição
1	AG (Agropecuária)	VN (Vegetação Natural)	0,030666856
2	AG (Agropecuária)	AR (Arrozeiras)	0,011701583
3	AG (Agropecuária)	C (Cidades)	0,010636780
4	VN (Vegetação Natural)	AG (Agropecuária)	0,009411609
5	VN (Vegetação Natural)	FP (Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo)	0,005945591
6	AG (Agropecuária)	FP (Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo)	0,004939762
7	FP (Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo)	VN (Vegetação Natural)	0,002907777
8	AR (Arrozeiras)	C (Cidades)	0,002504176
9	C (Cidades)	AG (Agropecuária)	0,002163854
10	AR (Arrozeiras)	AG (Agropecuária)	0,001837952
11	FP (Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo)	AG (Agropecuária)	0,001390609
12	VN (Vegetação Natural)	C (Cidades)	0,001097686
13	FP (Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo)	C (Cidades)	0,001031362
14	C (Cidades)	AR (Arrozeiras)	0,000683568
15	C (Cidades)	VN (Vegetação Natural)	0,00021295

Os valores anuais de transição representam a taxa com que aquela transição ocorre a cada ano do período total do estudo. Assim, estes valores representam a intensidade com que a transição se dá.

Através da Tabela 14, observa-se ao todo 15 transições na área de estudos, mas algumas delas nitidamente mais importantes, caso das seis primeiras transições. A transição de

Agropecuária para Vegetação Natural é a mais intensa, seguida por Agropecuária para Arrozais, Agropecuária para Cidades, o que mostra nitidamente o abandono da Agropecuária em relação a outros usos da terra. Em seguida, as transições de Vegetação Natural para Agropecuária, Vegetação Natural para Floresta plantada e Agropecuária para Floresta plantada. Seguem depois as demais transições de uso, mas apresentando uma importância menor em função da menor taxa de transição apresentada.

Observa-se ainda que a Agropecuária está dando lugar à Vegetação Natural, às Arrozais, às Cidades e aos Reflorestamentos e culturas de ciclo longo. A Vegetação Natural também tem sido transformada em Agropecuária, o que significa uma remanescente de ampliação da fronteira agrícola.

Responde-se assim à primeira pergunta auxiliar de pesquisa formulada para este estudo: “como havia sido o uso da terra na área de estudos de 1986 a 2000”?

Uma análise interessante diz respeito ao que acontece com o uso da terra em cada município na área de estudos. A Figura 14 apresenta o Gráfico dos percentuais de transição observados em cada município da área de estudos de 1986 a 2000.

Nota-se que as transições que mais ocorrem são Agropecuária para Vegetação Natural (AG-VN), bem como Vegetação Natural para Agropecuária (VN-AG). Observa-se, contudo, uma nítida diferença entre os municípios situados na região do Alto Vale em relação ao Baixo Vale. Naqueles, a transição AG-VN é realmente a mais expressiva, seguida pela transição oposta VN-AG. Para os municípios do baixo vale, contudo, as transições AG-VN e VN-AG são menos significativas ao mesmo tempo em que outras transições ganham importância, como é o caso das transições AG-FP (Agropecuária para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo) e AG-C (Agropecuária para Cidade). Isto pode ser observado nos municípios de Ascurra, Blumenau, Brusque, Gaspar, Ilhota, Itajaí, Navegantes e Timbó, demonstrando uma maior dinâmica na urbanização desses municípios.

A tabela completa com a quantificação das transições no nível municipal está no Anexo 7.3.

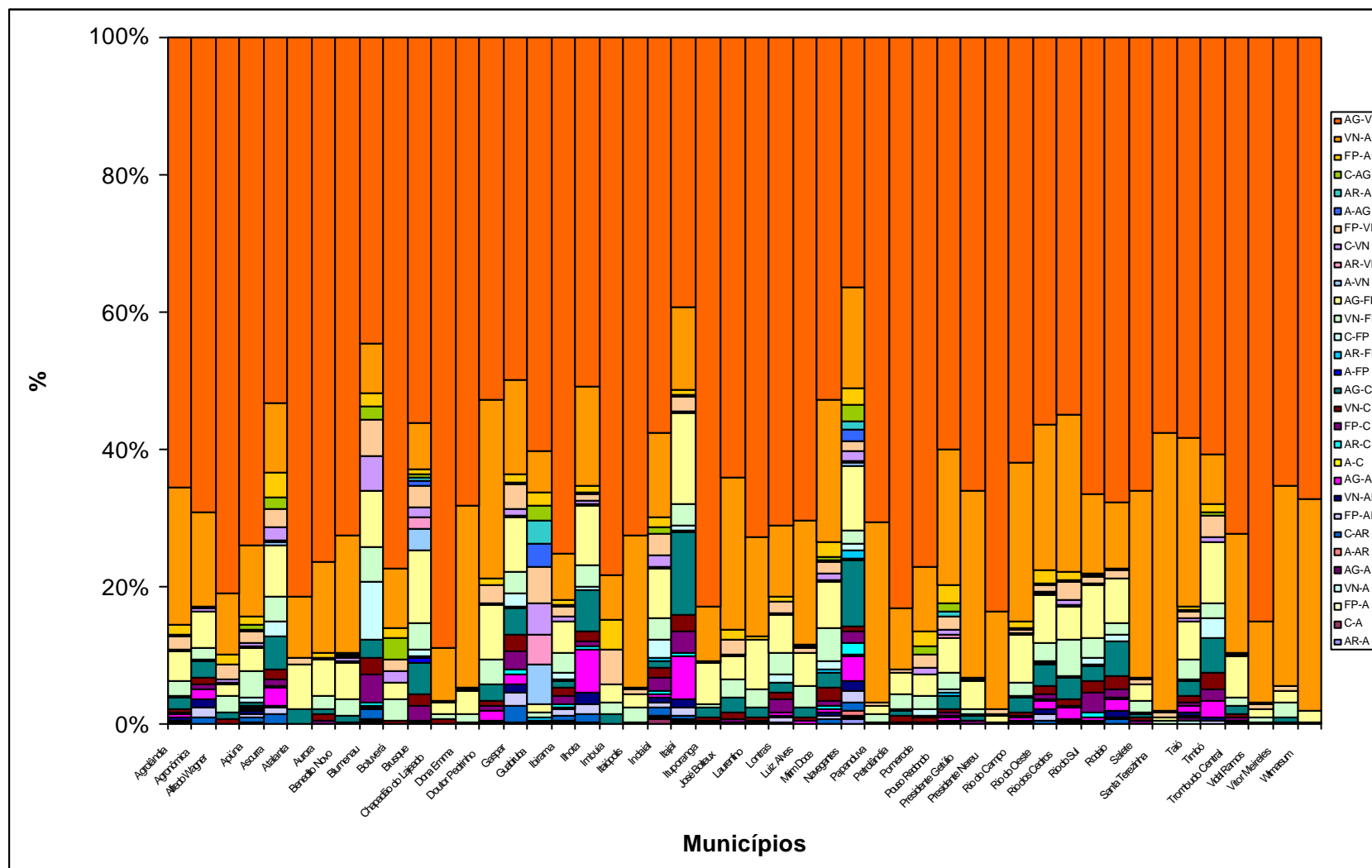


Figura 13 – Gráfico das transições de uso da terra no nível municipal (Tabela completa em Anexo). Fonte: elaboração do autor.

## Síntese

Neste item, buscou-se apresentar os resultados da pesquisa. Em primeiro lugar, foram apresentados aqueles referentes à estruturação do sistema de informações geográficas, sistema que permitiu melhor organizar as informações cartográficas e alfanuméricas. Em seguida, foram apresentados os resultados do mapeamento do uso da terra em 1986, início do período de tempo avaliado no estudo, quando observou-se através de imagens de satélite que a maior parte da área é coberta pelas classes agropecuária (aproximadamente 57%) e vegetação natural (aproximadamente 44%). A seguir, foram apresentados os resultados da avaliação das mudanças no uso da terra, avaliadas dentro do período de 14 anos, de 1986 a 2000. As informações mostram que aproximadamente 30% das terras teriam sofrido algum tipo de transição de uso da terra, o que indica uma dinâmica significativa, especialmente se consideradas as condicionantes geomorfológicas da área estudada, caracterizadas por um terreno bastante movimentado. Observou-se uma dinâmica considerável quanto ao uso da terra entre 1986 e 2000. Tal dinâmica pode ser exemplificada pelas transformações ocorridas na classe **Vegetação Natural** que aumentou mais que 11 pontos percentuais, passando de 51,20% para 62,24% da área estudada, **Agropecuária** que passou de 44,77% para 30,84% da área de estudos. Estas duas transformações no uso do solo merecem atenção em função de sua participação na área total estudada, já que as classes juntas significam mais de 90% da superfície.

Quanto às transições de uso da terra, foram observados 15 tipos na área de estudos, mas algumas quantitativamente mais importantes: Agropecuária para Vegetação Natural, seguida de Agropecuária para Arrozais, Agropecuária para Cidades, Vegetação Natural para Agropecuária, Vegetação Natural para Floresta plantada e Agropecuária para Floresta plantada.

Outra análise realizada diz respeito às mudanças no uso da terra nos municípios, mostrando que no alto vale a transição Agropecuária para Vegetação Natural é mais expressiva e para os municípios do baixo vale as transições Agropecuária para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo e Agropecuária para Cidade são mais expressivas.



### 4.3 Resultados de análise de dados no SIG, métodos estatísticos e modelo dinâmico

Aqui, são apresentados os resultados dos procedimentos de análise de dados através do SIG, bem como através da aplicação de alguns procedimentos estatísticos e do modelo dinâmico. O objetivo destes procedimentos foi, principalmente, avaliar a dinâmica do uso da terra no período compreendido pelo estudo, bem como avaliar a associação entre as mudanças do uso da terra observadas e as variáveis tomadas como possíveis fatores de mudanças. O modelo foi realizado com objetivo tanto de auxiliar na análise das mudanças no uso, quanto para gerar cenários futuros de uso da terra na área de estudos.

#### 4.3.1 Matrizes de transição

As Tabelas 16 e 18 apresentam as matrizes de transições do uso da terra entre 1986 e 2000. A matriz de transições é uma forma de organizar as informações sobre o uso da terra em duas datas ao longo de um período de tempo que permite avaliar o percentual de transições de cada uma das classes de uso na primeira data para cada uma das classes de uso da terra na segunda data. Por exemplo, na matriz a seguir, a célula em azul (B) representa o percentual (9,46%) da área de estudo coberta por arrozais em 1986 que se converteu em cidades. Na mesma matriz, observa-se que 5,94% das áreas cobertas por águas em 1986 permaneceram como águas em 2000, conforme a informação da célula em vermelho (A). Na diagonal, portanto, são apresentados os percentuais da área que não sofreram transição de uso, permanecendo em 2000, com o mesmo tipo de uso da terra.

	1986	Ani – Área não identificada	A – Águas	Ar – Arrozais	C – Cidades
2000					
Ani – Área não identificada		0,00%	0,00%	0,00%	4,22%
A – Águas		0,00%	5,94%	5,94%	5,02%
Ar – Arrozais		0,00%	0,02%	20,21%	19,81%
C – Cidades		0,00%	1,21%	9,46%	42,29%

A

B

A Tabela 16 apresenta a matriz **global** de transições, a qual representa as transições ocorridas ao longo do período total do estudo (1986 a 2000), enquanto a Tabela 18 apresenta a matriz **anual** de transições. Enquanto a matriz global representa a transição no período completo, a matriz anual, calculada pelo método de componentes principais, representa uma aproximação das transições ao longo do período de um ano dentro do período total do estudo.

Em ambas as matrizes, foram destacadas as transições mais importantes das menos importantes. As transições menos importantes estão grifadas em cinza, sendo estas praticamente uma contingência do método utilizado, menos do que uma necessidade do estudo. Também foram destacadas as células equivalentes à não-transição, ou seja, as células da diagonal de cada matriz.

Assim, cada célula traz uma quantidade de transição de uma determinada classe de uso da terra para uma outra classe qualquer, ou então a não-transição, quando a célula está na diagonal da matriz.

Tabela 16 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). Fonte: elaboração do autor.

		1986						
		Ani – Área não identificada	A – Águas	Ar – Arrozais	C – Cidades	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	Vn – Vegetação Natural	Ag – Agropecuária
2000	Ani – Área não identificada	0,00%	0,00%	0,00%	4,22%	9,31%	49,78%	36,69%
	A – Águas	0,00%	5,94%	5,94%	5,02%	10,50%	50,23%	22,37%
	Ar – Arrozais	0,00%	6,02%	26,21%	19,81%	13,20%	21,75%	13,01%
	C – Cidades	0,00%	1,21%	9,46%	42,29%	19,38%	17,33%	10,33%
	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	0,00%	0,58%	6,92%	16,82%	19,57%	35,40%	20,72%
	Vn – Vegetação Natural	0,00%	0,03%	0,19%	0,55%	1,63%	86,11%	11,50%
	Ag – Agropecuária	0,00%	0,02%	0,42%	1,13%	2,71%	35,47%	60,25%

Tabela 17 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). Fonte: elaboração do autor.<sup>11</sup>

Classe de uso da terra em 1986		Classe de uso da terra em 2000	Percentual da área de estudo que sofreu transição
Ar – Arrozais	para	Ar – Arrozais	26,21%
Ar – Arrozais	para	C – Cidades	9,46%
Ar – Arrozais	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	6,92%
Ar – Arrozais	para	Vn – Vegetação Natural	0,19%
Ar – Arrozais	para	Ag – Agropecuária	0,42%
C – Cidades	para	Ar – Arrozais	19,81%
C – Cidades	para	C – Cidades	42,29%
C – Cidades	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	16,82%
C – Cidades	para	Vn – Vegetação Natural	0,55%
C – Cidades	para	Ag – Agropecuária	1,13%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Ar – Arrozais	13,20%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	C – Cidades	19,38%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	19,57%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Vn – Vegetação Natural	1,63%

<sup>11</sup> Para uma visualização mais fácil, a Tabela 17 apresenta os mesmos resultados da matriz anterior (Tabela 16) em um formato de tabela.

Continuação da Tabela 17.

Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Ag – Agropecuária	2,71%
Vn – Vegetação Natural	para	Ar – Arrozais	21,75%
Vn – Vegetação Natural	para	C – Cidades	17,33%
Vn – Vegetação Natural	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	35,40%
Vn – Vegetação Natural	para	Vn – Vegetação Natural	86,11%
Vn – Vegetação Natural	para	Ag – Agropecuária	35,47%
Ag – Agropecuária	para	Ar – Arrozais	13,01%
Ag – Agropecuária	para	C – Cidades	10,33%
Ag – Agropecuária	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	20,72%
Ag – Agropecuária	para	Vn – Vegetação Natural	11,50%
Ag – Agropecuária	para	Ag – Agropecuária	60,25%

Tabela 18 - Matriz anual de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). Fonte: elaboração do autor.

		1986						
		Ani – Área não identifica da	A – Águas	Ar – Arrozeiras	C – Cidades	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	Vn – Vegetação Natural	Ag – Agropecuári a
2000	Ani – Área não identificada	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	A – Águas	-1,58%	60,58%	0,70%	0,19%	-0,03%	0,01%	0,20%
	Ar – Arrozeiras	1,93%	-0,04%	63,01%	0,07%	-0,12%	-0,06%	1,17%
	C – Cidades	5,74%	0,43%	0,25%	67,19%	0,10%	0,11%	1,06%
	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	1,85%	-0,03%	-0,09%	-0,08%	61,20%	0,59%	0,49%
	Vn – Vegetação Natural	0,79%	0,01%	0,01%	0,02%	0,29%	89,76%	3,07%
	Ag – Agropecuária	0,59%	0,04%	0,18%	0,22%	0,14%	0,94%	86,00%

Tabela 19 - Matriz global de transições do uso da terra entre 1986 (colunas) e 2000 (linhas). Fonte: elaboração do autor.<sup>12</sup>

Classe de uso da terra em 1986		Classe de uso da terra em 2000	Percentual da área de estudo que sofreu transição
Ar – Arrozeiras	para	Ar – Arrozeiras	63,01%
Ar – Arrozeiras	para	C – Cidades	0,25%
Ar – Arrozeiras	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	-0,09%
Ar – Arrozeiras	para	Vn – Vegetação Natural	0,01%
Ar – Arrozeiras	para	Ag – Agropecuária	0,18%
C – Cidades	para	Ar – Arrozeiras	0,07%
C – Cidades	para	C – Cidades	67,19%
C – Cidades	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	-0,08%
C – Cidades	para	Vn – Vegetação Natural	0,02%
C – Cidades	para	Ag – Agropecuária	0,22%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Ar – Arrozeiras	-0,12%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	C – Cidades	0,10%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	61,20%

<sup>12</sup> Para uma visualização mais fácil, a matriz anterior (Tabela 18) é apresentada a seguir na Tabela 19.

Continuação da Tabela 19.

Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Vn – Vegetação Natural	0,29%
Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	para	Ag – Agropecuária	0,14%
Vn – Vegetação Natural	para	Ar – Arrozais	-0,06%
Vn – Vegetação Natural	para	C – Cidades	0,11%
Vn – Vegetação Natural	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	0,59%
Vn – Vegetação Natural	para	Vn – Vegetação Natural	89,76%
Vn – Vegetação Natural	para	Ag – Agropecuária	0,94%
Ag – Agropecuária	para	Ar – Arrozais	1,17%
Ag – Agropecuária	para	C – Cidades	1,06%
Ag – Agropecuária	para	Fp – Florestas Plantadas e Culturas de Ciclo Longo	0,49%
Ag – Agropecuária	para	Vn – Vegetação Natural	3,07%
Ag – Agropecuária	para	Ag – Agropecuária	86,00%



#### 4.3.2 Transições de uso da terra

A Tabela 20 apresenta as informações sobre as transições de uso da terra na área de estudos. Na tabela, pode ser encontrada a taxa de transição, as variáveis intervenientes e os respectivos pesos de evidência de cada variável.

A taxa de transição significa o andamento da transição ao longo do tempo, sendo representada por um número que varia de 0, quando não existe a transição a 1, quando em um período de tempo toda a área sofre transição.

As variáveis relacionada em cada transição foram selecionadas dentre o conjunto de todas as variáveis avaliadas no estudo e são aquelas que mais apresentam associação com a transição em questão.

Os pesos de evidência, como tratado anteriormente, significam o grau de contribuição de cada variável para a ocorrência de determinadas transições de uso da terra.

Tabela 20 – Transições de uso da terra e variáveis mais associadas e respectivos pesos de evidência. As transições utilizam as siglas: AG: Agricultura; AR: arrozzeiras; C: Cidade; FP: Floresta plantada; VN: Vegetação Natural. Fonte: elaboração do autor.

	Transição	Taxa anual de transição	Variável	Sigla da variável	Pesos Positivos de Evidências						
					1	2	3	4	5	6	7
1	AG_VN	0,030666856	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,1568	0,0168	0,0903			
			Vazão específica	VAZAO	0	-0,1899	-0,106	0,2507	0,3418	0,9132	
			Declividade do terreno	DECL		-0,7437	-0,672	-0,319	0,5396	1,5378	0,89766
2	AG_AR	0,011701583	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	0,79383	-0,076	-1,683			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	1,15007	0,7658	-0,674			
3	AG_C	0,010636780	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	1,03358	-0,486	-1,347			
			Declividade do terreno	DECL		1,72249	0,2897	-1,111	-2,076	-2,456	0,49806
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	1,81228	0,4633	-0,509			
4	VN_AG	0,009411609	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	0,6179	0,0274	-0,177			
			Distância de Rodovias Secundárias	ROD SEC	0	0,2294	-0,967	-1,486			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	0,1736	0,0975	-0,02			
			População urbana em 1986	P_URB_86	0	0,0732	-0,039	-0,478	-1,055		
			Declividade do terreno	DECL		1,15004	0,9256	0,5145	-0,386	-1,395	-0,6385
5	VN_FP	0,005945591	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	1,2447	-0,251	-0,282			
			Distância de Rodovias Secundárias	ROD SEC	0	0,1728	-0,67	-2,59			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	2,2805	0,179	-0,174			
			População rural em 1986	P_RUR_86	0	-0,2717	-0,093	0,0708			

Continuação da Tabela 20.

		Declividade do terreno	DECL		1,73854	0,9955	0,1707	-0,582	-1,398	-0,2418
6	AG_FP	0,004939762	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	0,81838	-0,391	-0,533		
			Distância de Rodovias Secundárias	ROD SEC	0	0,02458	-0,313	-1,033		
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	1,52915	0,2725	-0,274		
			População urbana em 1986	P_URB_86	0	-0,2693	0,6132	0,9271	1,2724	
			Número de estabelecimentos industriais em 1986	IND	0	-0,3714	-0,087	0,4298	1,2373	1,2724
			Número de estabelecimentos comerciais em 1986	COM	0	-0,2343	-0,028	0,6587	1,2199	1,2724
			Declividade do terreno	DECL		1,14487	0,3928	-0,393	-0,768	-1,315
7	FP_VN	0,002907777	Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,5664	0,3118	0,6601		
			Distância de Rodovias Secundárias	ROD SEC	0	-0,0546	0,8729	1,9945		
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	-0,5577	-0,183	0,3092		
			Declividade do terreno	DECL	0	-0,8044	-0,393	0,073	1,2262	2,591
8	AR_C	0,002504176	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	0,44565	-1,141	-0,986		
			População rural em 1986	P_RUR_86	0	0	-0,068	0,0823		
			Declividade do terreno	DECL		0,24722	0,0944	0,0693	0	0
9	C_AG	0,002163854	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,1345	0,0944	0,0693		
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	-1,4084	0,0738	1,1105		

Continuação da Tabela 20.

			População urbana em 1986	P_URB_86	0	0,6608	-0,016	-0,606	-0,633		
			Número de estabelecimentos industriais em 1986	IND	0	0,8402	0,5121	-0,385	-0,78	-0,633	
10	AR_AG	0,001837952	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,446	0,07	0,941			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	-1,6336	-0,844	0,711			
11	FP_AG	0,001390609	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,1273	0,0493	0,1904			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	-0,9818	-0,215	0,3866			
			População urbana em 1986	P_URB_86	0	0,2982	-0,155	-0,77	-0,742		
			Número de estabelecimentos industriais em 1986	IND	0	0,3684	0,3408	-0,307	-0,943	-0,742	
12	VN_C	0,001097686	Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	0,1736	0,0975	-0,02			
			População rural em 1986	P_RUR_86	0	0,0362	-0,248	0,1711			
			Declividade do terreno	DECL		1,15004	0,9256	0,5145	-0,386	-1,395	-0,6385
13	FP_C	0,001031362	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	0,5819	-0,49	-1,914			
			Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	1,0905	0,0921	-1,017			
			População urbana em 1986	P_URB_86	0	-0,6727	0,1914	0,972	0,5052		
14	C_AR	0,000683568	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,0098	0,1098	-0,43			
			População urbana em 1986	P_URB_86	0	0,4813	0,5462	-0,508	-0,87		
15	C_VN	0,000212950	Distância de Rodovias Primárias	ROD PRI	0	-0,2759	0,218	2,0057			

---

Continuação da Tabela 20.

		Distância de Centros Urbanos	C_URB	0	-0,6965	0,2055	0,714			
		Declividade do terreno	DECL		-0,6117	-0,314	0,33	1,3799	2,9167	0

#### 4.3.3 Associação espacial entre transições de uso da terra e fatores de mudança e análise das mudanças no uso da terra

A avaliação da associação entre cada uma das transições identificadas na área de estudo e as diversas variáveis consideradas como fatores de mudanças (ver Tabela 20) foi realizada através de gráficos de espalhamento, os quais são apresentados nas Figuras 14 a 28.

A associação, caso existente, pode apresentar diversos padrões. A associação é positiva quando, na presença da variável, aumenta-se a probabilidade de transição de uma dada célula. Por outro lado, a associação é negativa quando, na presença da variável reduz-se a probabilidade de transição.

A Figura 14 mostra que a transição de Agropecuária para Vegetação Natural apresenta associação com quatro variáveis: Distâncias a rodovias primárias, Vazão mínima específica, Declividade e Distâncias a cursos d'água, todas elas de forma direta, ou seja, à medida que a variável considerada aumenta de valor, também aumenta a probabilidade de ocorrência da transição.

Assim, o abandono da Agropecuária e a recuperação da Vegetação Natural nestes locais ocorrem, de forma geral, em locais distantes de rodovias, em locais de maior vazão específica, em locais de grande declividade e distantes de cursos d'água.

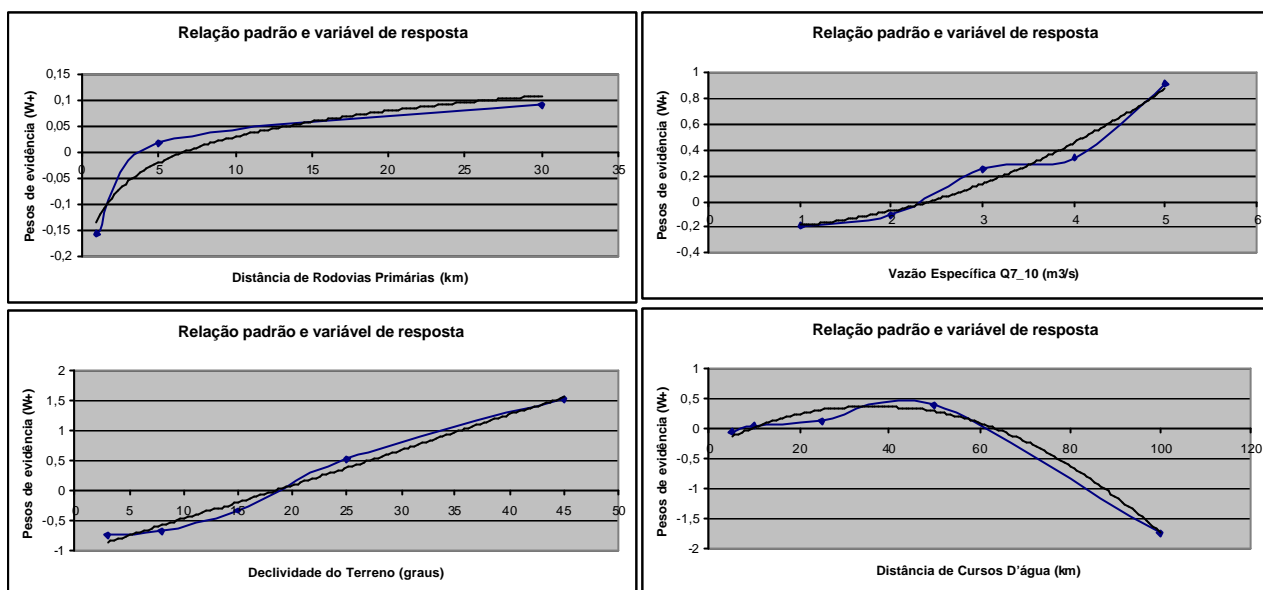


Figura 14 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-VN. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 15 apresenta as variáveis associadas com a transição de Agropecuária para Arrozais. Observa-se que esta transição está correlacionada com duas variáveis: Distância de Centros Urbanos e Distância de Rodovias Primárias, ambas de forma indireta, ou seja, à medida que aumenta o valor da variável, reduz-se a ocorrência da transição. Assim, a especialização da agropecuária em arrozais ocorre de forma mais intensa próximo das rodovias e próximo dos centros urbanos. Tanto as rodovias quanto as cidades, tendem, a princípio, a ser construídas em locais mais planos, na medida do possível, o que leva a dizer que existe uma sobreposição de efeitos entre a transição e os fatores que a produzem.

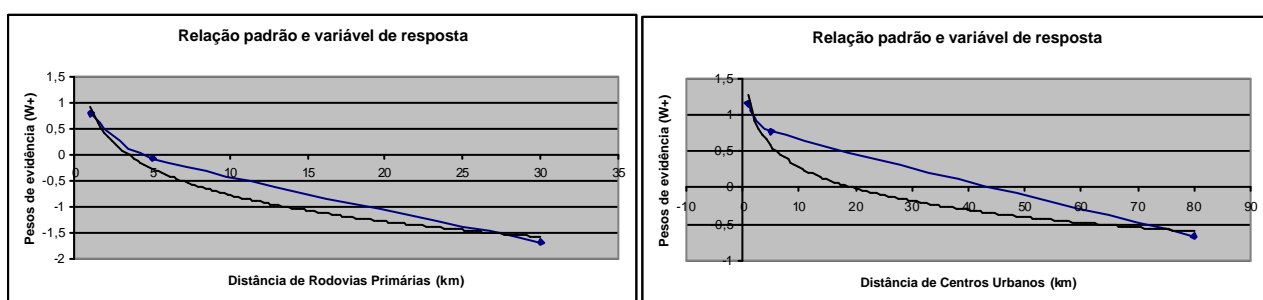


Figura 15 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-AR. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 16 apresenta as variáveis associadas com a transição Agropecuária para Cidades. Observa-se que três variáveis estão associadas: Distâncias de rodovias primárias, Declividade e Distância de Centros Urbanos, todas as três de forma indireta, ou seja, à medida que cresce o valor da variável, reduz-se a probabilidade de transição.

Desta forma, a transição de Agropecuária para Cidades, compreende, basicamente, o processo de loteamento ou a simples urbanização das terras, e é maior nos locais próximos das rodovias, de menor declividade e próximos dos centros urbanos.

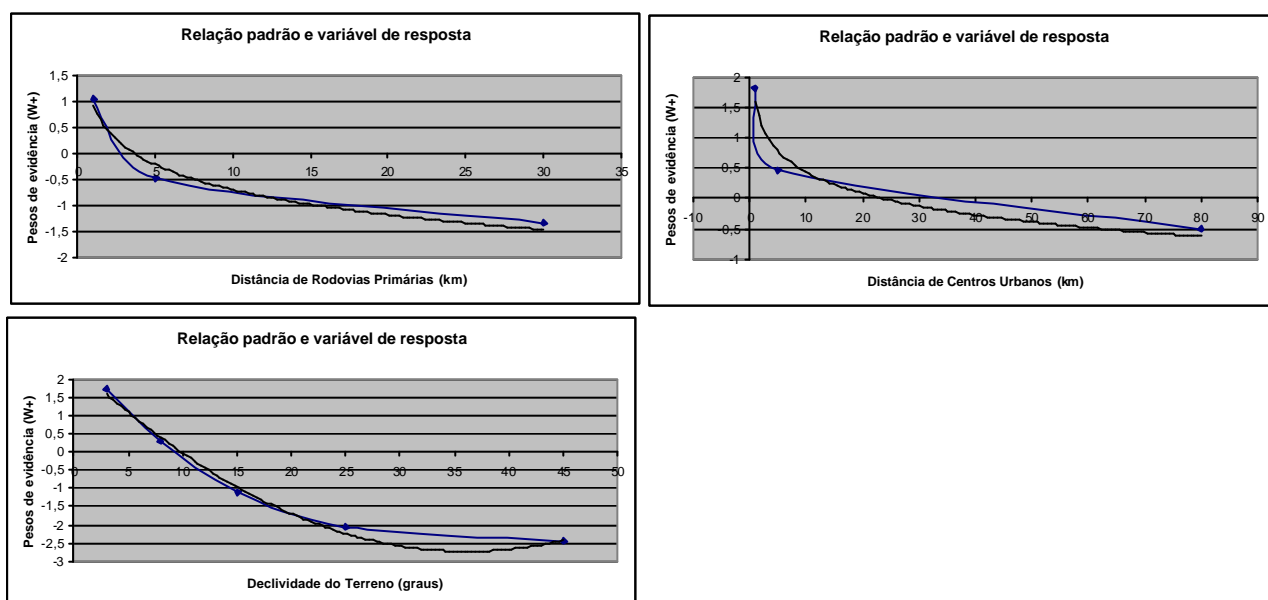


Figura 16 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-C. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 17 apresenta as variáveis associadas com a transição Vegetação Natural para Agropecuária. Esta transição está ligada a cinco variáveis, todas de forma indireta: Distância de Rodovias Primárias, Distância de Rodovias Secundárias, Distância de Centros Urbanos, População urbana, Declividade.

Observando os dados, percebe-se que na presença da variável reduz-se a probabilidade da transição. Desta forma, a retirada da floresta em favor da agropecuária é maior em locais próximos de rodovias e cidades, que tenham baixa declividade, e é maior em municípios com população urbana menor.



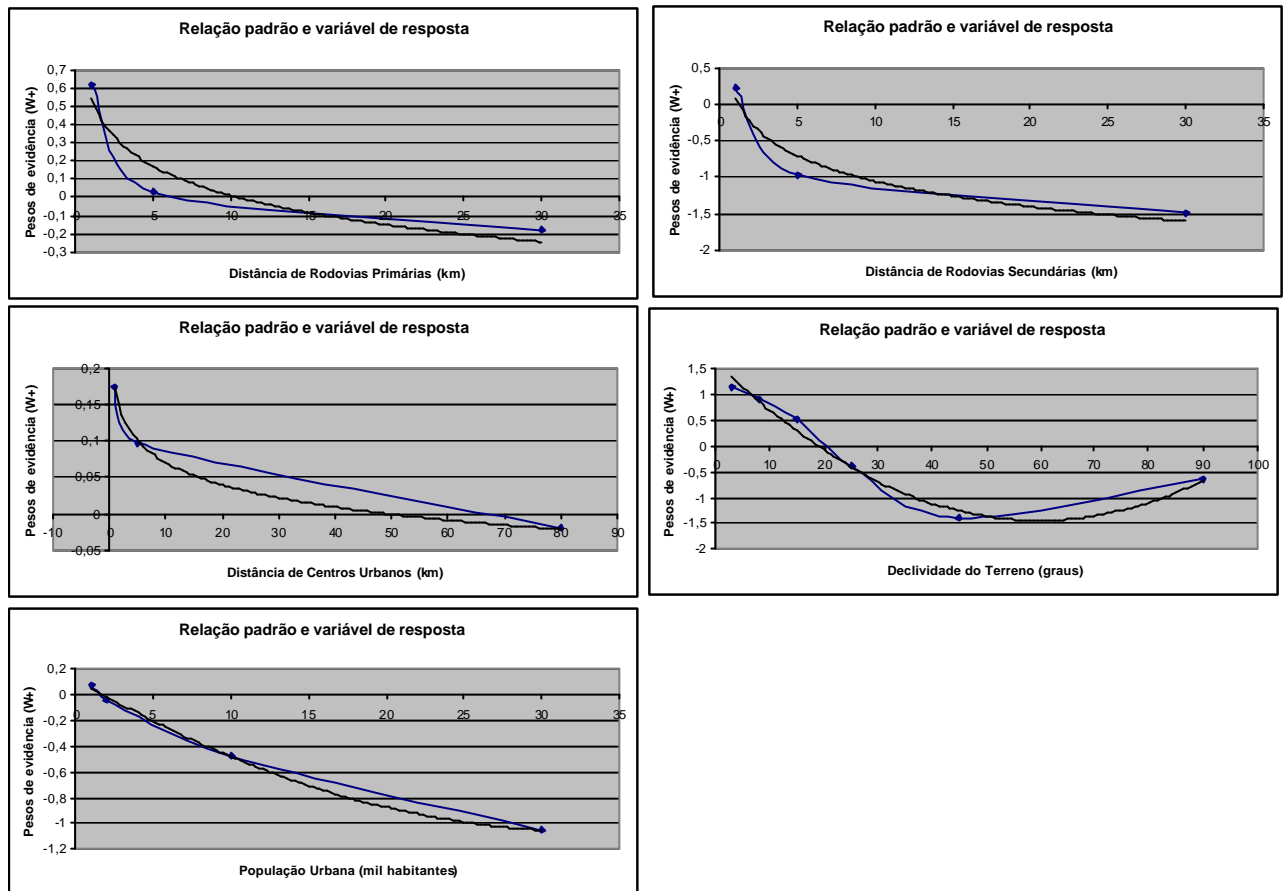


Figura 17 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-AG. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 18 apresenta as variáveis associadas com a transição Vegetação Natural para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo. Das cinco variáveis associadas, três são inversamente proporcionais, isto é à medida que aumenta o valor da variável, reduz-se a ocorrência da transição e duas diretamente proporcionais, isto é, à medida que aumenta o valor da variável, aumenta a ocorrência da transição.

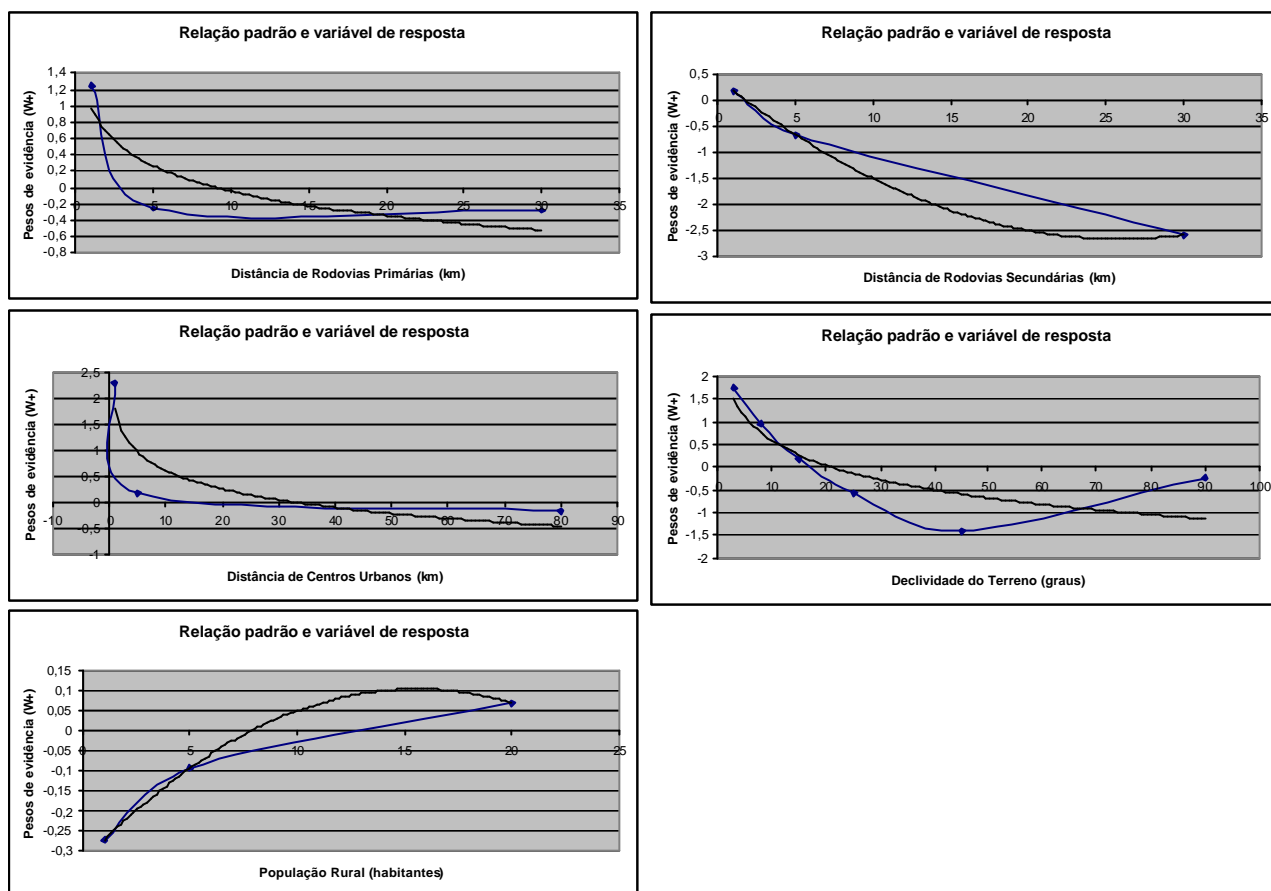


Figura 18 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-FP. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 19 apresenta as variáveis associadas com a transição Agropecuária para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo. Das sete variáveis associadas, quatro tem associação negativa: Distância de Rodovias Primárias, Distância de Rodovias Secundárias, Distância de Centros Urbanos e Declividade, e três, associação positiva: População urbana, Número de estabelecimentos industriais e Número de estabelecimentos comerciais. Assim, a ocorrência da transição Agropecuária para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo é maior quanto mais perto de rodovias e cidades, assim como é maior quanto menor for a declividade do terreno. Por outro lado, esta transição é maior, quanto maior for a população urbana do município e quanto maior for o número de estabelecimentos comerciais e industriais.

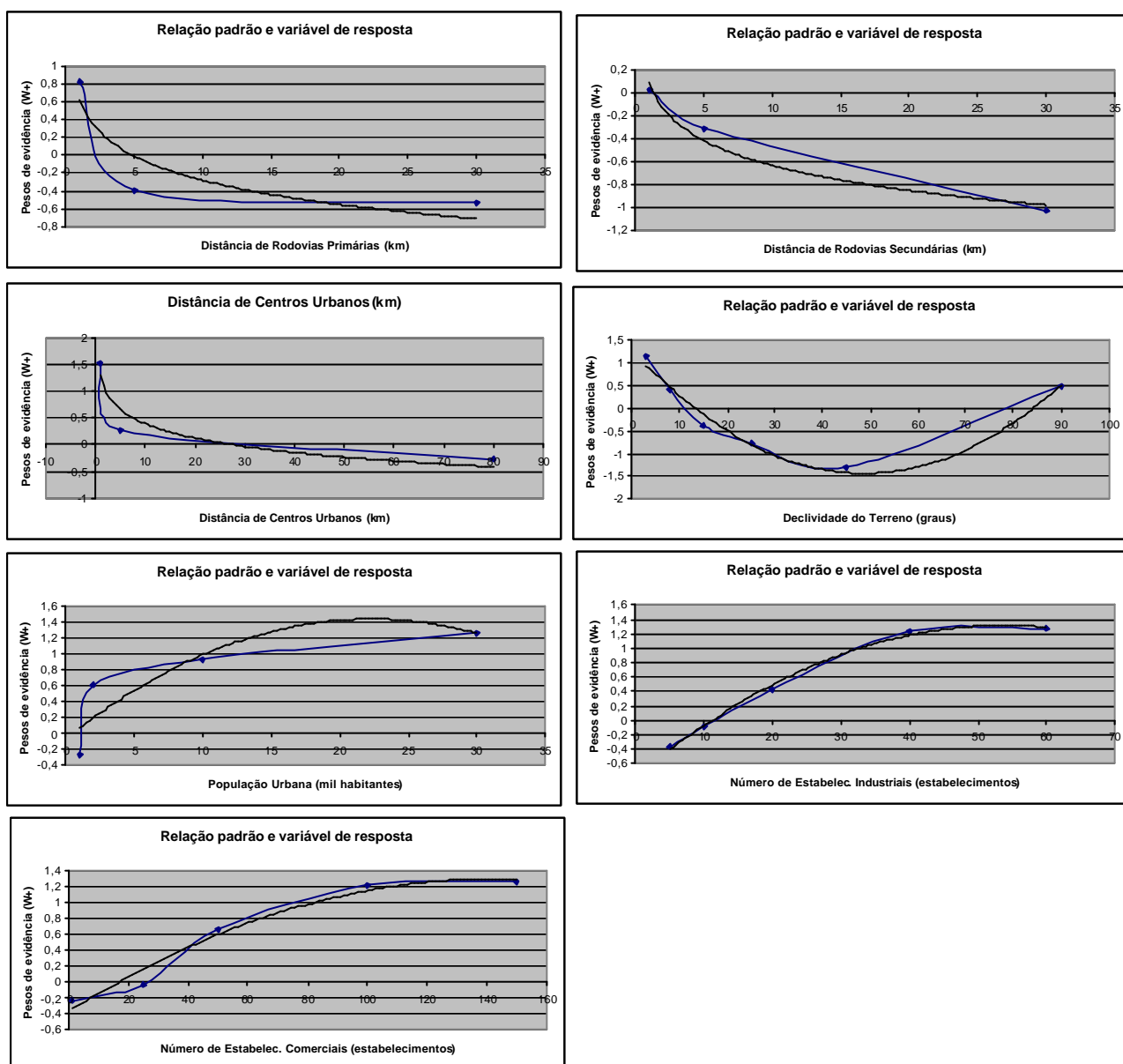


Figura 19 – Gráficos de espalhamento para a transição AG-FP. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 20 apresenta as variáveis associadas com a transição Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo para Vegetação Natural. As quatro variáveis apresentam associação positiva, já que à medida que cresce o valor da variáveis, cresce a ocorrência da transição. Assim, esta transição ocorrerá mais em lugares distantes de rodovias, com declividade alta e longe de cidades.

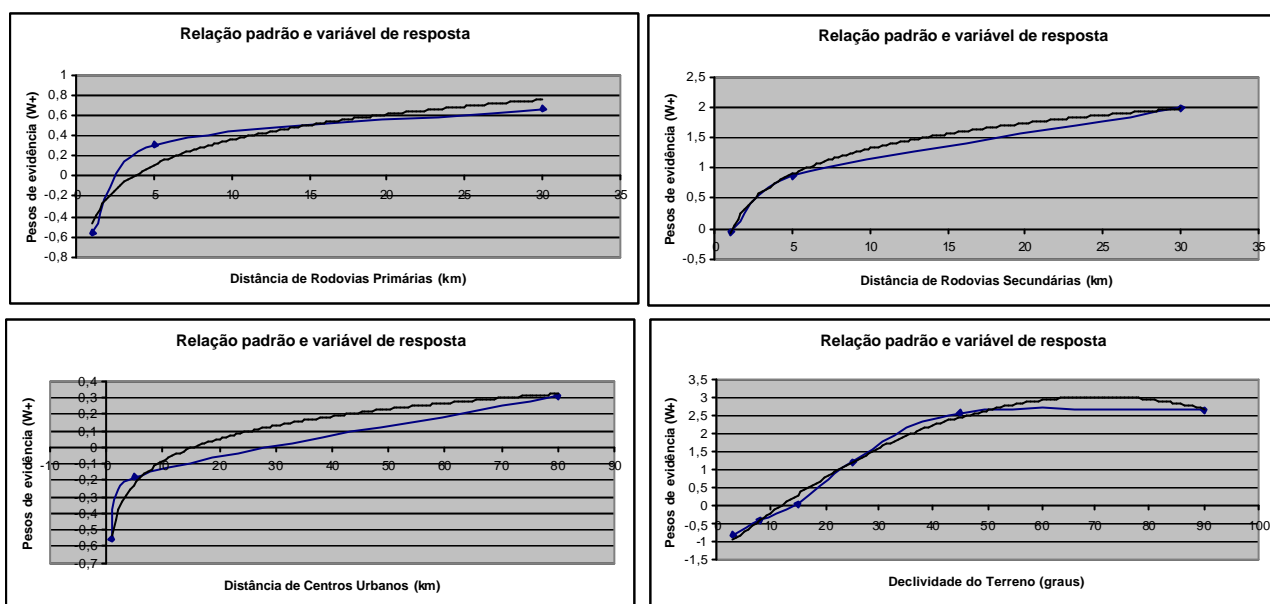


Figura 20 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-VN. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 21 apresenta as variáveis associadas com a transição de Arrozeiras para Cidades. As três variáveis têm associação negativa, de forma que à medida que cresce o valor da variável, reduz-se a ocorrência da transição.

Observa-se que o abandono das arrozeiras em favor dos loteamentos urbanos ou ocupação urbana mais intensa ocorre em locais próximos das rodovias e das cidades e em locais de pouca declividade do solo.

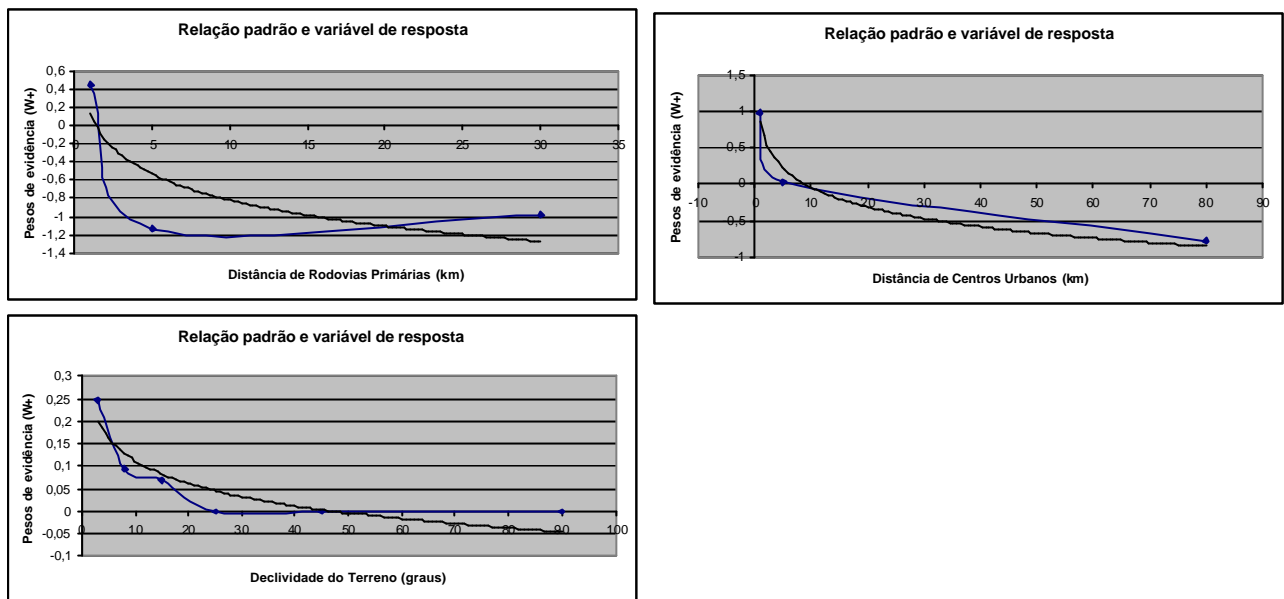


Figura 21 – Gráficos de espalhamento para a transição AR-C. Fonte: elaboração do autor.

As variáveis associadas com a transição Cidade para Agropecuária são em número de quatro: Distância de Rodovias Primárias, Distância de Centros Urbanos, População urbana, Número de estabelecimentos industriais, sendo as duas primeiras de associação positiva e as duas últimas de associação indireta.

Desta forma, a transição Cidade para Agropecuária tende a ocorrer mais em locais distantes das cidades e das rodovias, em municípios com menor população urbana e com menor número de estabelecimentos industriais.

A princípio estabelece-se uma incoerência já que a classe de origem da transição é cidade e a transição ocorre mais em locais distantes de cidades. O processo de modificação da cidade para agricultura é um processo que vai no sentido contrário do desenvolvimento econômico e por isso se torna estranho. Ocorre em períodos de encolhimento da cidade, nas áreas periurbanas sujeitas a este tipo de dinâmica e ocorre mais em pequenos municípios e pequenos centros urbanos, o que explica a incoerência citada acima.

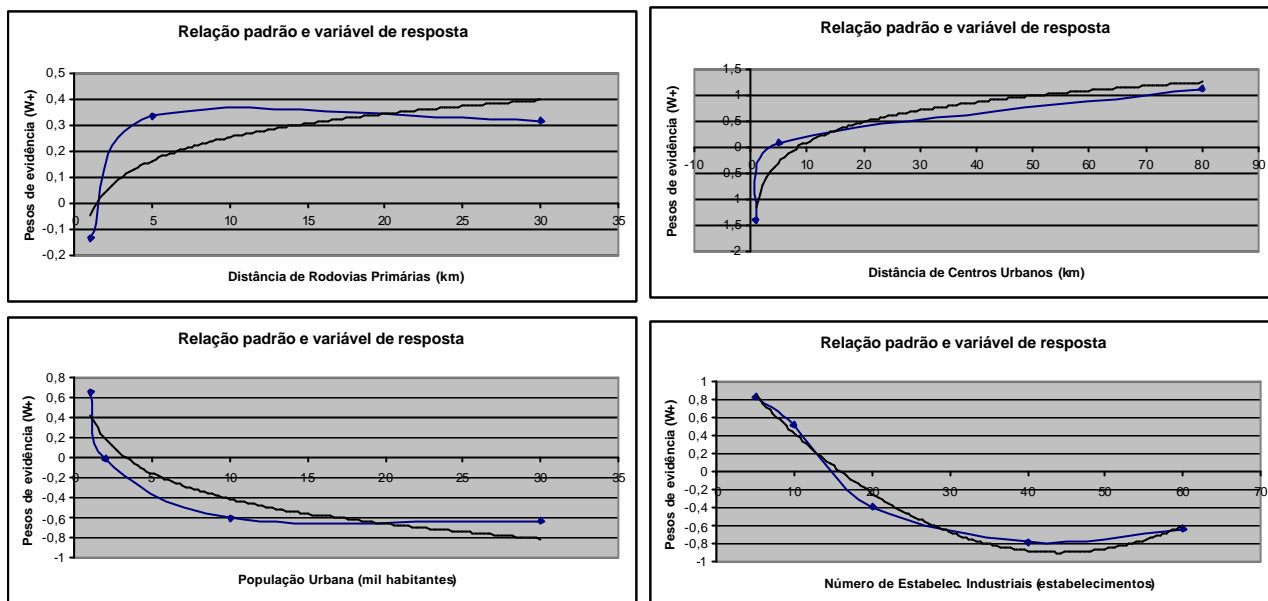


Figura 22 – Gráficos de espalhamento para a transição C-AG. Fonte: elaboração do autor.

As variáveis associadas com a transição Arrozais para Agropecuária podem ser observadas na Figura 23. Ambas as variáveis, Distância de Rodovias Primárias e Distância de Centros Urbanos, apresentam associação positiva com a transição. Assim, as Arrozais são substituídas por Agropecuária em locais distantes de rodovias e distantes de centros urbanos. Levanta-se, por outro lado, a possibilidade de ter havido um erro de avaliação, no caso desta transição específica, em função da metodologia utilizada. Neste caso o uso de dados convertidos em formato “raster” pode produzir erros de classificação nas bordas de contato entre duas classes temáticas.

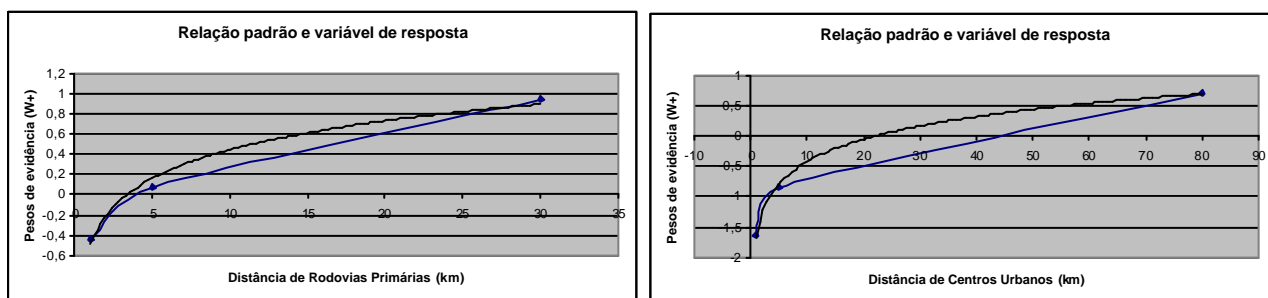


Figura 23– Gráficos de espalhamento para a transição AR-AG. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 24 apresenta as variáveis que têm associação com a transição Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo para Agropecuária. Esta transição apresenta associação com quatro variáveis, sendo duas diretamente proporcionais: Distância de Rodovias Primárias e Distância de Centros Urbanos e duas inversamente proporcionais: População urbana e Número de estabelecimentos industriais.

Observa-se que a transição Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo para Agricultura tende a ocorrer mais em locais distantes de rodovias e de cidades. Por outro lado, esta transição tende a ocorrer mais em municípios com menor população urbana e com menor número de estabelecimentos industriais.

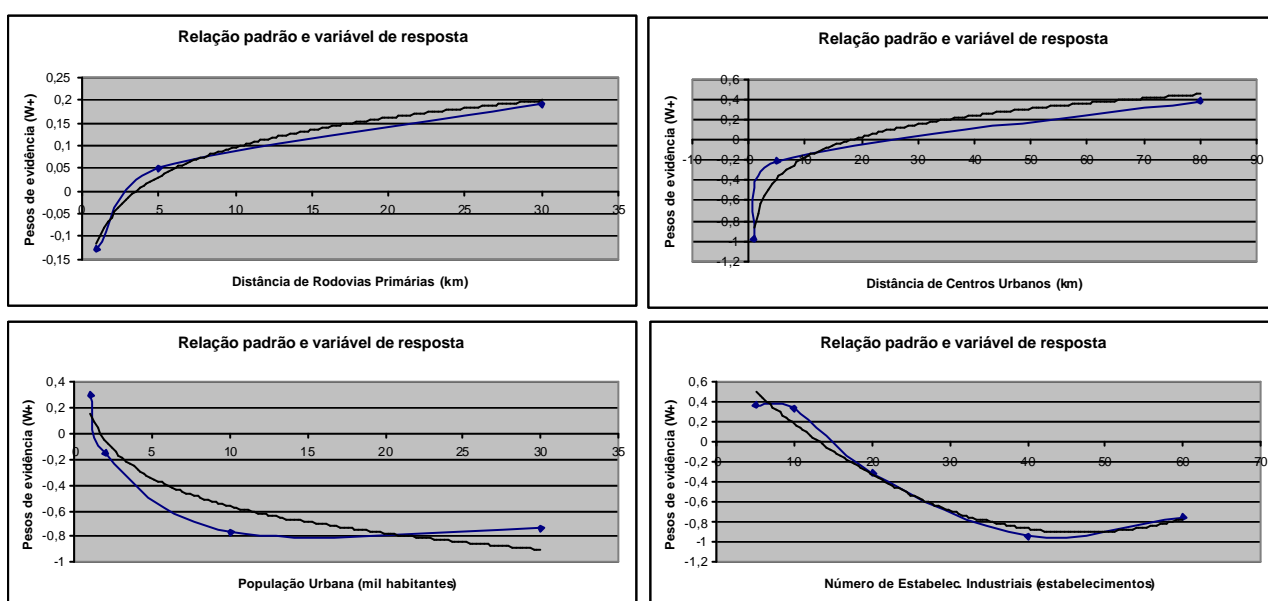


Figura 24 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-AG. Fonte: elaboração do autor.

A transição de Vegetação Natural para Cidade (Figura 25) tem associação com duas variáveis: População rural e Distância de Centros Urbanos, ambas inversamente proporcionais à transição. Assim, a transição de Vegetação Natural para Cidade tende a ocorrer mais em municípios com menor população rural e próximos das cidades.

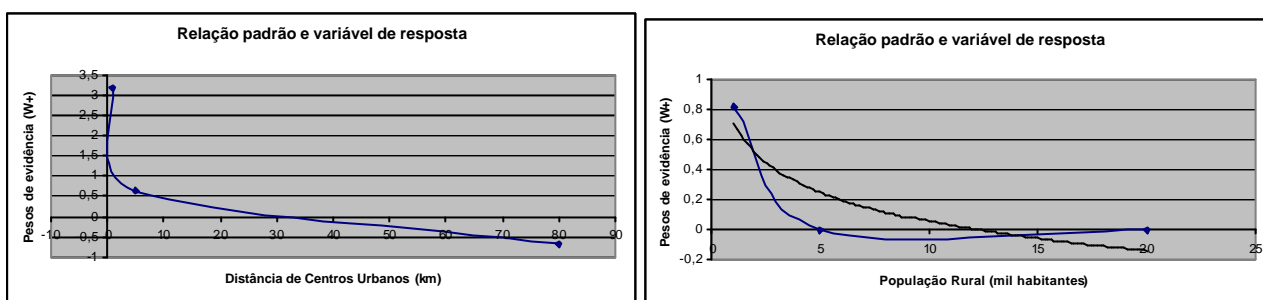


Figura 25 – Gráficos de espalhamento para a transição VN-C. Fonte: elaboração do autor.

A transição Floresta plantada para Cidade (Figura 26) apresenta associação com quatro variáveis, sendo duas de associação negativa: Distância de Rodovias Primárias e Distância de Centros Urbanos e duas de associação positiva: Número de estabelecimentos industriais e Número de estabelecimentos comerciais. Estas duas últimas variáveis apresentam uma associação não muito forte, já que há uma inversão no final da curva, mostrando a mudança de uma tendência.

De forma geral, a transição Floresta plantada para Cidades ocorre mais intensamente em locais próximos de cidades e rodovias e também tende a ocorrer mais em municípios com maior número de indústrias e comércios.

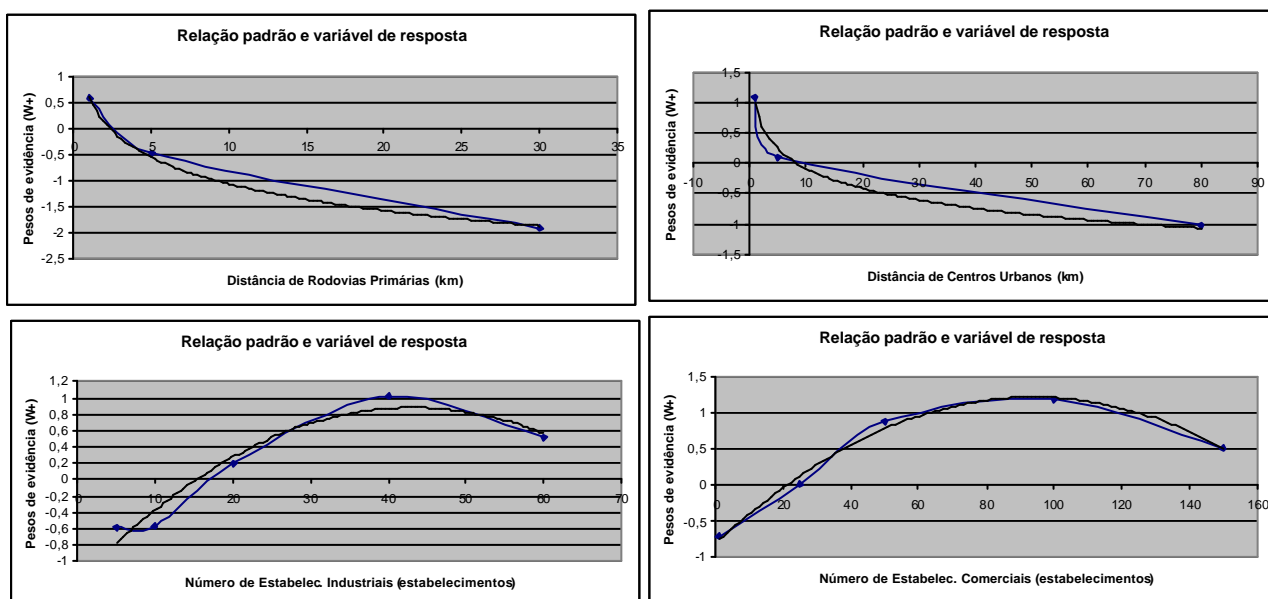


Figura 26 – Gráficos de espalhamento para a transição FP-C. Fonte: elaboração do autor.



A Figura 27 apresenta as variáveis que têm associação com a transição Cidade para Arrozeiras: Declividade e Distância de Centros Urbanos. A Declividade tem relação inversa com a ocorrência da transição e a Distância de Centros Urbanos tem associação positiva, mas, de certa forma, fraca, já que apresenta uma mudança de tendência ao final.

De forma geral, a transformação de cidades em arrozeiras ocorre mais em locais de baixa declividade e distantes dos centros urbanos. Mais uma vez a transição parece incoerente, já que a classe de origem é cidades e a transição ocorre em maior grau exatamente em locais distantes de cidades. Avalia-se que a transição ocorre em maior grau na área periurbana de pequenas cidades, ao invés de cidades maiores.

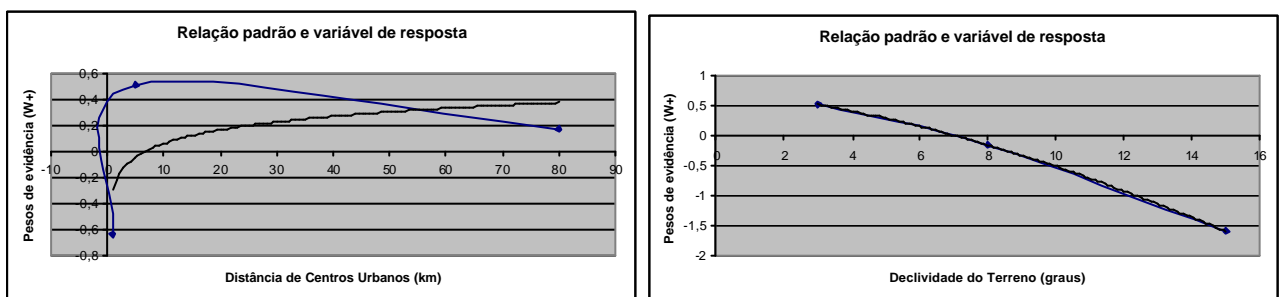


Figura 27 – Gráficos de espalhamento para a transição C-AR. Fonte: elaboração do autor.

A Figura 28 apresenta as três variáveis que têm associação com a transição Cidade para Vegetação Natural: Distância de rodovias principais, Distância de Centros Urbanos e Declividade. As três variáveis têm associação positiva, ou seja, à medida que aumenta o valor da variável, aumenta também a tendência de ocorrer a transição. Assim, a transição Cidades para Vegetação Natural tende a ocorrer mais em locais distantes das rodovias e das cidades, bem como em locais de maior declividade.

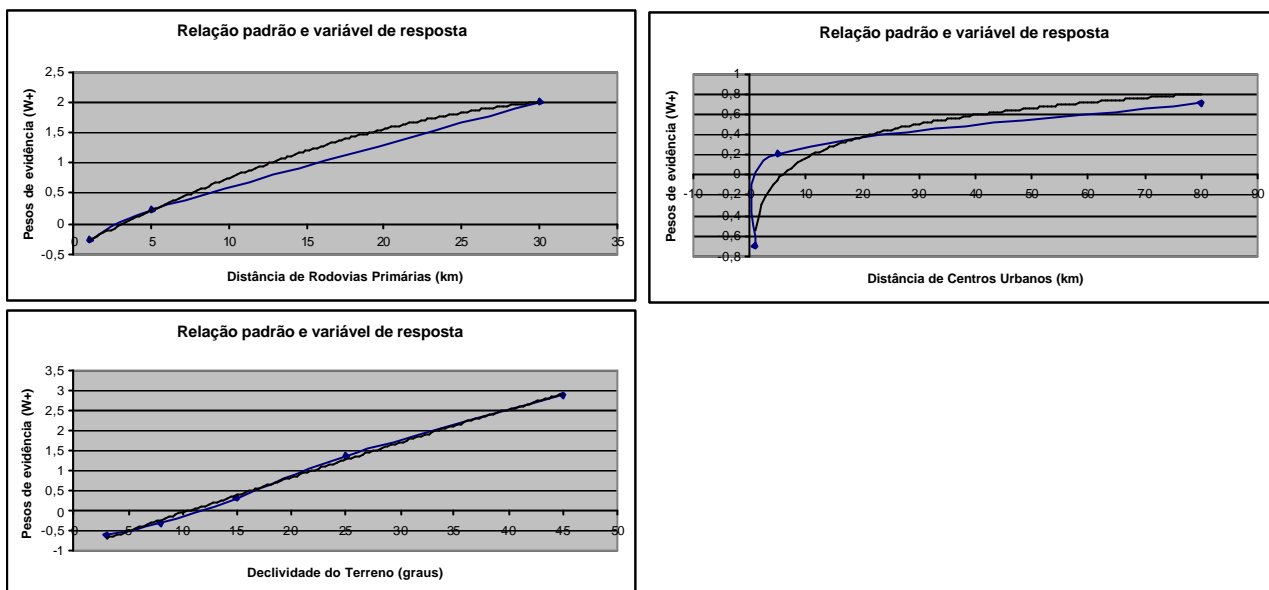


Figura 28 – Gráficos de espalhamento para a transição C-VN. Fonte: elaboração do autor.

#### 4.3.4 Simulação de mudanças no uso da terra

O processo de modelagem desenvolvido com o programa DINÂMICA apresenta como resultados uma simulação de mapa de uso da terra para o ano de 2000. A Figura 29 apresenta o produto final da validação do modelo, ou seja, o mapa que o modelo gerou simulando o mapa de uso da terra em 2000.

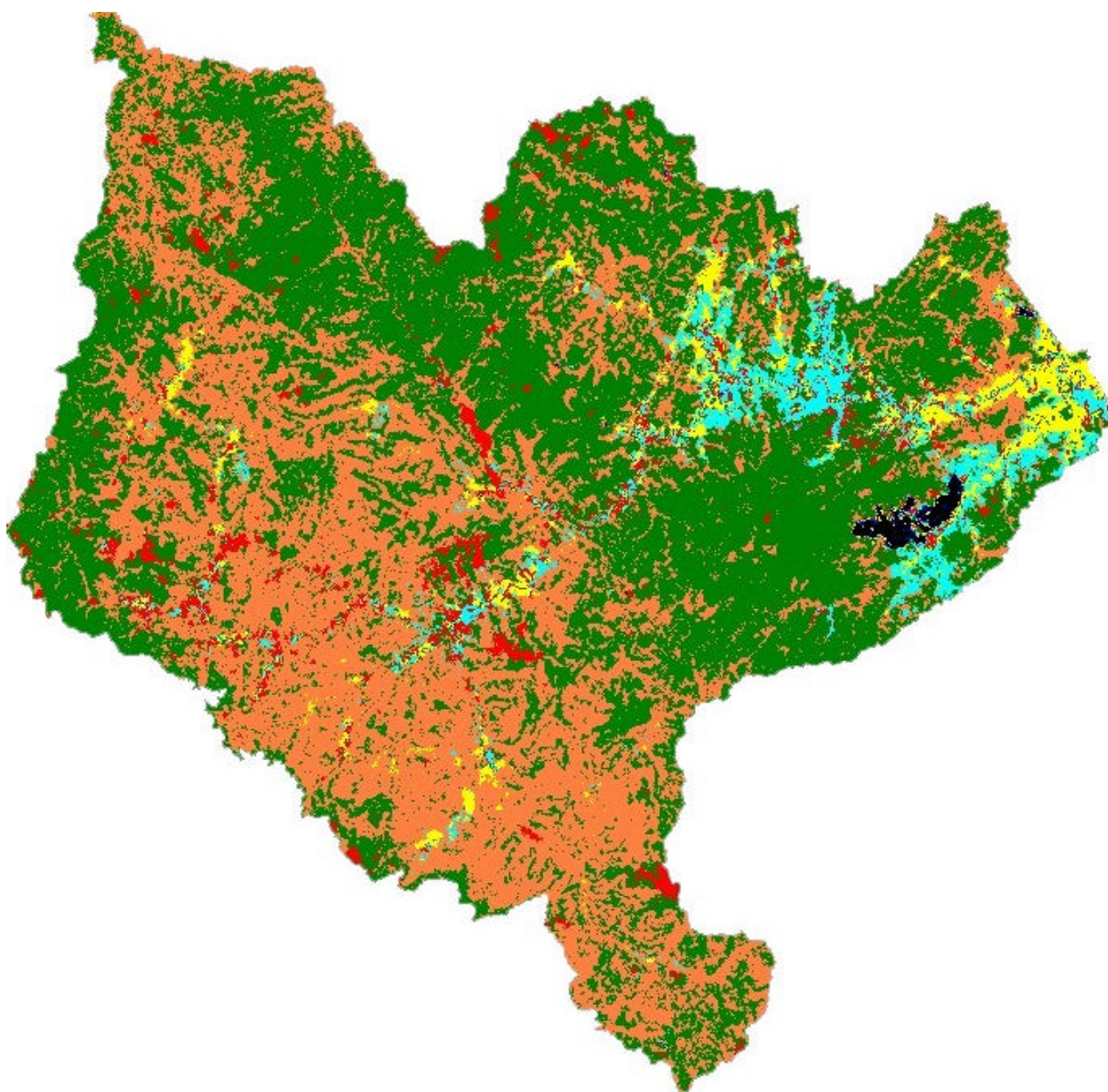


Figura 29 – Mapa de uso da terra gerado pelo modelo equivalente ao mapa de uso para 2000. Fonte: elaboração do autor.

Através de uma comparação visual do mapa de uso da terra em 2000 (Anexo – Folha 2) com o mapa apresentado na Figura 29, percebe-se que **não** há uma pronta coincidência, o que se deve à dificuldades na fase de calibração do modelo, realizada parcialmente pelo método de tentativa e erro, pela mudança sistemática de parâmetros do modelo. Os resultados alcançados foram positivos em termos do funcionamento do modelo, mas foram negativos quanto à qualidade da validação do modelo, que, muito provavelmente, necessita de maior tempo de execução e testes para um resultado adequado.

A pergunta de pesquisa auxiliar “que modelos conceituais e matemáticos podem representar o uso da terra e sua dinâmica espaço temporal”? pode, assim, ser respondida afirmativamente, já que os modelos dinâmicos apresentam a capacidade de representar o uso da terra e sua dinâmica no espaço e no tempo.

### Síntese

Neste item, mostrou-se os resultados das análises realizadas através de métodos numéricos aplicados utilizando o SIG e outros programas de análise numérica. Em primeiro lugar, apresentou-se as matrizes de mudança de uso da terra entre 1986 e 2000 as quais mostram a classe de origem e a classe de destino das terras em cada transição.

Depois, foram apresentados os resultados da avaliação dos fatores de transição e a associação dos mesmos com cada uma das transições observadas na área de estudos. A principal transição, Agropecuária para Vegetação Natural está ligada à quatro variáveis: Distâncias a rodovias primárias, Vazão mínima específica, Declividade e Distâncias a cursos d'água, todas elas de forma direta, enquanto que a segunda transição mais importante, Agropecuária para Arrozais está ligada a duas variáveis: Distância de Centros Urbanos e Distância de Rodovias Primárias, ambas de forma indireta, ou seja, à medida que aumenta o valor da variável, reduz-se a ocorrência da transição. Em seguida apresentou-se os resultados do processo de modelagem e simulação das mudanças do uso da terra ao longo do tempo, que foi realizado utilizando o programa DINÂMICA, o qual teve como produto final o mapa simulado de uso da terra em 2000.

#### 4.4 Análise das mudanças de uso da terra no Vale do Itajaí

A análise das mudanças no uso da terra no vale do Itajaí pode ser realizada à luz das informações obtidas pelos cálculos estatísticos realizados para a modelagem do uso da terra entre 1986 e 2000. O modelo dinâmico gerado permite também inferir sobre as mudanças no uso e seus fatores. O objetivo é fazer uma análise das transições mais recorrentes na área de estudos, tentando buscar aspectos que auxiliem na compreensão do processo envolvido na transição de uso da terra. As transições de menor importância relativa serão abordadas apenas de passagem.

Uma das transições mais importantes identificadas pelo estudo diz respeito ao abandono da **agropecuária**, na mesma medida em que, nas terras abandonadas, regenera-se a **vegetação natural**. Este processo ocorre em locais de maior declividade do terreno e, muito provavelmente, está ligado ao processo de mudanças no modelo de propriedade agrícola na área de estudos.

Vibrans mostra que este processo iniciou já na década de 60 no Médio Vale do Itajaí e nas demais regiões a partir da década de 80.

Em relação à dinâmica do uso do solo pode-se afirmar que a agricultura está decrescendo, em algumas áreas desde a metade do século XX, em outras apenas desde os anos 80 e 90. Considerando os dados dos censos agrícolas até 1995, referentes às áreas de lavouras e pastagens, os indícios citados são reforçados a ponto de formarem uma tendência...Analisando estes dois itens fica evidente que o total de áreas ocupadas pela agropecuária não está mais aumentando, mas decrescendo. Esta tendência é digna de nota, porque o êxodo rural e a redução da população rural em si não significam implicitamente uma redução da pressão sobre os recursos naturais, como havia constatado FRANK (1995); pelo contrário, durante certo tempo, a população rural empobreceu e diminuiu, mas, apesar disto, a área explorada por ela ainda aumentou (VIBRANS, 2003).

A regeneração da vegetação natural se dá através do processo natural de regeneração via sucessão ecológica, onde, de forma natural, o ecossistema tende a alcançar uma estrutura e um funcionamento parecido com o que existia originalmente (KLEIN, 1979).

Neste processo de mudança, por um lado, existe a tendência de especialização da agricultura, com o investimento em culturas de maior retorno econômico, realizadas através de um pacote tecnológico específico e, portanto, teoricamente, com maior

garantia de sucesso. É o caso do cultivo do arroz. Por outro lado, a pequena propriedade, no modelo agrícola realizado até há pouco tempo atrás, parece não oferecer retorno em atividades realizadas sem a especialização necessária, como as pastagens extensivas feitas em terrenos mais íngremes, sendo estes pastos abandonados.

Outro processo ligado ao fenômeno da recuperação da vegetação natural é a migração da população rural para as cidades, de forma definitiva ou na forma de trabalho em tempo parcial. Este processo provoca a redução da mão-de-obra nas zonas agrícolas e o conseqüente desinteresse pelos cultivos.

Anjos apresenta um estudo sobre o assunto das mudanças pelas quais passa a agricultura em Massaranduba, descrevendo o fenômeno e os aspectos a ele ligados. Massaranduba, apesar de não estar na área de estudos, apresenta características bastante próximas a esta em quase todos os sentidos. O autor apresenta uma análise que explica os aspectos socioeconômicos da questão (ANJOS, 1995).

Outra transição muito ligada à questão da especialização da agricultura é a transformação de **Agropecuária para Arrozeiras**, identificada como uma das mais importantes pelo presente estudo. Os locais mais propícios à ocorrência desta transição foram identificados como sendo próximos de rodovias e centros urbanos. Isto parece ter duas causas: por um lado, rodovias e cidades foram prioritariamente instaladas em locais de baixa declividade, adequados ao cultivo de arroz; por outro, próximos de cidades e rodovias, existe uma tendência de facilitação na busca pelo pacote tecnológico à disposição para a cultura do arroz (BARUFFI e PLAUTZ, 1995).

O arroz é uma cultura de grande retorno para os produtores. É realizada de forma intensiva, com alto grau de tecnologia e uso de insumos e recursos hídricos. Discute-se atualmente, questões ambientais ligadas à produção do arroz, especialmente como causador de conflitos no uso dos recursos hídricos, tanto como consumidos na tomada de água para irrigação quanto para diluição de defensivos agrícolas, além de alterações nas condições de qualidade da água pelo aumento da turbidez.

Apesar disto, especialistas em cultivo do arroz defendem que a cultura não causa maiores problemas do que os já enfrentados pela sociedade com a falta de tratamento de esgotos

domésticos e industriais, e que conflitos por recursos hídricos podem ser facilmente resolvidos através da adoção de práticas simples de redução de impacto (NOLDIN, 2003).

O fato é que práticas como estas, apesar de simples e por isso talvez de baixo custo, ainda não foram implementadas até o presente.

Com relação à transição **Agropecuária para Cidades**, trata-se de uma mudança que ocorre no entorno de áreas já urbanizadas ou às margens de rodovias e estradas e que consiste em uma total modificação do uso da terra. Este processo está ligado à valorização das terras próximas das cidades e à pressão por novas área de ocupação urbana. Estas áreas terminam por sofrer um processo de especulação imobiliária em função de suas características: declividade baixa, proximidade com outras áreas urbanas e com rodovias.

A transição **Arrozeiras para Cidades** é uma transição que ocorre também em função da ampliação das cidades, pressionadas pela necessidade de espaço urbano e pela especulação imobiliária. A exemplo da transição Agropecuária para Cidades, esta também ocorre naqueles locais próximos das cidades e das rodovias, bem como em locais de baixa declividade do terreno.

Uma transição oposta é a de **Cidade para Agropecuária** que tende a ocorrer mais em locais distantes das cidades e das rodovias, em municípios com menor população urbana e com menor número de estabelecimentos industriais. Esta transição não é facilmente aceiável pois que trata de abandonar estruturas mais sólidas e de vida bastante longa como é o caso das estruturas urbanas, em detrimento de propriedades agrícolas, contrariando a direção do processo de desenvolvimento.

Em pequenos municípios ou mesmo em pequenos aglomerados urbanos, porém, esta contradição parece menos evidente.

Siebert trata da questão da urbanização e da rede de estradas no Vale do Itajaí, mostrando que as cidades do vale do Itajaí se organizam em uma rede hierárquica, na qual algumas exercem atração polar sobre as demais: Itajaí, Blumenau e Rio do Sul. Identifica-se

também um processo de alteração desta rede com a relativa descentralização de atividades para cidades periféricas aos pólos (SIEBERT, 1997).

A Tabela 21 apresenta a evolução da população no Estado de Santa Catarina. Observa-se o grande aumento da população urbana em relação à rural, especialmente a partir da década de 80.

Tabela 21 – População do Estado de Santa Catarina. Fonte: IBGE.

Situação do domicílio	Ano					
	1950	1960	1970	1980	1991	2000
Total	1.560.502	2.146.909	2.901.660	3.628.292	4.541.994	5.349.580
Urbana	362.717	695.347	1.247.158	2.154.250	3.208.537	4.211.979
Rural	1.197.785	1.451.562	1.654.502	1.474.042	1.333.457	1.137.601

Outra informação importante diz respeito aos eixos de crescimento. Segundo Siebert, a partir da década de 70, consolida-se uma tendência de maior crescimento de municípios do baixo vale do Itajaí, acompanhando um processo de crescimento de todo o litoral do Estado de Santa Catarina. (SIEBERT, 1997).

Esta tendência de crescimento dos municípios periféricos não representa estagnação econômica nos municípios pólo, mas sim mudanças na participação dos setores da economia, que tendem a deixar os setores primário e secundário para crescer no terciário, ou mesmo abrir novos campos com empresas dos ramos de tecnologia de ponta (SIEBERT, 1997).

O processo de industrialização durante a década de 80 foi intenso em Santa Catarina, reduzindo-se a partir da década de 90, acompanhando um processo de estagnação econômica observado em todo o país. Apesar disso, a migração rural-urbano continuava a acontecer (RAUD, 1999).



A transição **Vegetação Natural para Agropecuária** é um processo inverso à primeira transição comentada e representa, de certa forma, aquele processo conhecido como ampliação da fronteira agrícola. Neste processo, novas áreas de floresta, ou outro ecossistema em forma natural, são incorporadas às áreas de produção agrícola. Este processo atualmente acontece em decorrência da tentativa de aproveitar aqueles locais que apresentam potencial natural para agropecuária, especialmente em função da declividade do terreno, bem como com maiores facilidade em termos de mercados, ou seja, próximos de cidades e rodovias, mas em municípios caracteristicamente rurais.

Por outro lado, esta transição pode representar exatamente o aproveitamento dos recursos florestais, madeira e lenha, tendo como consequência a geração de uma área de pastagem que pode ser assim mantida ou pode até regenerar-se com o passar do tempo.

Outra transição identificada pelo estudo diz respeito às transformações de **Agropecuária para Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo**. Este é também um processo de especialização no uso das terras, através da implantação de monoculturas com pacote tecnológico conhecido. As espécies mais cultivadas neste caso são o Eucalipto, o Pinus e a Banana. Eucalipto e Pinus tendem a ser cultivados por empresas e visam à produção de madeira para energia ou emprego em processos de aproveitamento tecnológico. O Eucalipto, apesar de hoje em dia estar sendo empregado inclusive para produção de madeira serrada, até há pouco tempo era plantado, fundamentalmente, para a produção de energia.

Este processo de substituição da agropecuária pela produção de árvores e culturas de ciclo longo como a bananeira, vem sendo realizado, em maior monta, em locais próximos das cidades e rodovias e em locais com baixa declividade do terreno. Isto indica uma tendência de aproveitar locais com facilidade de acesso e transporte, o que viabiliza o aproveitamento econômico dos bens ali produzidos. Por outro lado, o fato de se escolher

locais de menor declividade está ligado, provavelmente, às melhores condições que estes locais apresentam.<sup>13</sup>

Uma outra informação interessante sobre esta transição é que ela tende a ocorrer mais naqueles municípios com maior população urbana, com maior número de estabelecimentos tanto comerciais quanto industriais. Isto parece indicar que existe uma coerência entre as espécies plantadas e seu emprego, com as necessidades de matérias-primas e energia que estes municípios apresentam. Assim, por exemplo, a produção de lenha pelas terras plantadas com Eucalipto pode alimentar com energia as indústrias nos municípios mais industrializados.

Em sentido contrário, vai a transição **Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo** para **Agropecuária**, a qual tende a ocorrer mais em locais distantes de rodovias e de cidades. Por outro lado, esta transição tende a acontecer em municípios com menor população urbana e com menor número de estabelecimentos industriais. Outra transição muito parecida é **Floresta plantada** para **Cidades**, que ocorre mais intensamente em locais próximos de cidades e rodovias e também tende a acontecer em municípios com maior número de indústrias e comércios.

Outra transição que parece ir em um sentido contrário da Agropecuária para Floresta plantada é a transformação de **Floresta Plantada e Culturas de Ciclo Longo para Vegetação Natural**, já que retrata o abandono da primeira classe de uso da terra. Esta transição significa a retirada da floresta plantada pelo corte e o abandono das terras para a regeneração da vegetação natural através da sucessão ecológica. Porém, ao contrário da anterior, esta transição tende a ocorrer em locais com características diametralmente opostas aos anteriores, já que são distantes de cidades e rodovias, bem como com declividade mais elevada.

---

<sup>13</sup> Quando se fala em baixa declividade, não significa exatamente locais planos, mas também locais com declividades intermediárias.

Tudo parece apontar para uma transição que significa uma tendência de não utilizar terras com baixo potencial para culturas especializadas. Assim, as terras com maior declividade e que, em função de uma série de fatores, apresentam baixa produtividade, tendem a ser abandonadas para que a regeneração natural permita à vegetação original se restabelecer. Por outro lado, tende a haver um menor interesse em cultivar terras que fiquem distantes dos mercados e da infraestrutura de transporte.

Desta forma, estabelece-se uma correspondência entre as mudanças de uso da terra e os fatores econômicos, sociais e físico-bióticos que determinaram estas mudanças. Apesar do número de fatores envolvidos provavelmente ser bem maior do que o número analisado, percebe-se uma forte correspondência entre aqueles fatores estudados e as mudanças observadas. Responde-se assim à primeira pergunta de pesquisa formulada que dizia respeito à forma como os fatores econômicos, sociais e físico-bióticos, bem como suas interações, determinam o uso e a cobertura do solo”. Assim também se aproxima da resposta para as questões auxiliares como: “quais os padrões de espacialização que se observam na área de estudos, na escala da bacia hidrográfica”?; “existe associação entre eles e outros parâmetros de ordem físico-naturais, sócio-econômico e culturais”?; “de que forma esta associação pode ser explicada”?

## Síntese

Neste item, mostrou-se que na dinâmica do uso do solo na área de estudos, as transições mais importantes identificadas pelo estudo foram o abandono da agropecuária, na mesma medida que, nas terras abandonadas, regenera-se a vegetação natural. Mostrou-se que este processo ocorre em locais de maior declividade do terreno e, muito provavelmente, está ligado ao processo de mudanças no modelo de propriedade agrícola na área de estudos, a partir da década de 1980. Ocorre, por outro lado, a mudança de vegetação natural para agropecuária, mostrando que em certos locais a fronteira agrícola ainda se amplia.

As culturas agrícolas mais implantadas no processo de mudanças são de maior especialização, como por exemplo e principalmente a cultura do arroz e a cultura da banana. Assim sendo, apresentam teoricamente maior segurança e renda para os

agricultores. Além da mudança de vegetação natural para agropecuária, uma transição de grande significado é a mudança de agropecuária de uma forma geral para a agricultura especializada do arroz, a qual ocorre em locais com potencial para esta cultura, definidos, principalmente pela baixa declividade do solo e pela existência de fontes de água para irrigação. Outra transição de grande importância é a mudança de agropecuária para cidades, mostrando que em diversos locais a urbanização é um processo ativo.

O estudo identificou uma tendência de não utilizar terras com baixo potencial para culturas especializadas. Assim, as terras com maior declividade e que, em função de uma série de fatores, apresentam baixa produtividade, tendem a ser abandonadas para que a regeneração natural permita à vegetação original se restabelecer. Por outro lado, tende a haver um menor interesse em cultivar terras que fiquem distantes dos mercados e da infraestrutura de transporte. As terras com maior potencial tendem a ser utilizadas para culturas adequadas a este potencial, como é o caso das arrozeiras e bananais.

## 5 *Conclusões e recomendações*

Após a realização do estudo é possível refletir sobre e sintetizar uma série de questões, dentre elas sobre os métodos e técnicas utilizadas e sobre os resultados obtidos, bem como a continuação e ampliação para outras linhas de pesquisa. Também é possível refletir sobre a utilização das informações levantadas em aplicações práticas.

Os objetivos propostos foram quase totalmente atingidos, com exceção da validação do modelo dinâmico, objetivo cumprido apenas qualitativamente. As técnicas e métodos utilizados permitiram alcançar bons resultados de forma geral, bem como cumprir os demais objetivos propostos. Foram encontrados problemas metodológicos em dois pontos: primeiro na interpretação das imagens de satélite de 1986, em função das características das próprias imagens, e segundo, na validação do modelo dinâmico, etapa que exigiria mais tempo do que o disponível e que, portanto foi realizada apenas de forma qualitativa. Também seria de grande valia trabalhar com uma série de dados maior do que a trabalhada, especialmente trabalhar com datas intermediárias e não apenas com os extremos do período considerado como foi o caso deste estudo. De forma geral, porém, a metodologia mostrou-se adequada para o problema proposto.

O estudo realizado aponta certo ineditismo, tanto no que diz respeito aos métodos aplicados a uma área do tamanho do Vale do Itajaí quanto pela complexidade de utilizar um grande número de classes de uso da terra. Além disso, o estudo dos fatores de mudanças de uso da terra no Vale do Itajaí utilizando os métodos estatísticos probabilísticos também pode ser considerado inovador. O número de informações geradas, bastante grande, significa avanços importantes no conhecimento do ambiente e especificamente do uso da terra e de seus fenômenos de mudança ao longo do tempo.

Os resultados alcançados são de grande importância para o tema “uso da terra” no Vale do Itajaí, o que interessa sob diversos pontos de vista. Do ponto de vista científico, os resultados representam um avanço no conhecimento empírico sobre o Vale do Itajaí, sobre o ambiente, sobre a sociedade e, especificamente, sobre o uso da terra e sua mudança ao longo do tempo.

O uso da terra no Vale do Itajaí apresenta uma grande dinâmica, representada pela mudança nas classes de uso da terra em, praticamente, um terço das terras no período de 14 anos. Anualmente, aproximadamente 8% das terras mudam de classe de uso. A dinâmica do uso das terras mostra que houve, ao longo destes 14 anos, processos de transição de Agropecuária para Vegetação Natural, ou seja, o abandono das propriedades agrícolas e das atividades como pastoreio e culturas de subsistência e a conseqüente regeneração da vegetação natural via sucessão ecológica. No sentido exatamente oposto, em menor quantidade, também se observa na área de estudos nestes 14 anos, que a vegetação nativa cedeu lugar à agropecuária, o que representa o corte da vegetação para uso de culturas agrícolas e para pastagens, mostrando a busca por novas terras para plantios agrícolas. Ambas as transições de uso da terra representam a maior parte da dinâmica em termos de superfície.

Observou-se porém, outras transições, também importantes, como é o caso de área cultivadas com culturas agrícolas diversas, as quais foram substituídas por culturas mais produtivas e especializadas, como por exemplo o arroz e a banana. Estas áreas foram ainda transformadas em cidades e em reflorestamentos. Outras transições de menor importância foram observadas.

Avaliando a espacialidade destes fenômenos de mudança na área de estudos, a quantificação das mudanças de uso da terra por município do Vale do Itajaí aponta para a tendência geral descrita acima, na qual nas áreas de maior declividade regenera-se a floresta, nas áreas de menor declividade permanece a agropecuária ou mesmo ocorre uma especialização da agricultura em culturas mais rentáveis. Observa-se, porém uma grande diferença entre municípios maiores e com centro urbano mais expressivo e aqueles com características totalmente rurais. Nestes últimos a tendência colocada acima é evidente, enquanto naqueles mais urbanos, existe uma tendência de ocorrer diversas transições de uso da terra ao invés do padrão exposto acima.

O mesmo pode se dizer dos municípios localizados no baixo vale do Itajaí. Nestes, existe uma tendência de ocorrer transformações diversas, enquanto nos municípios do alto vale do Itajaí, nitidamente mais rurais, existe uma tendência de ocorrer mais as transições Agropecuária – Vegetação Natural e vice-versa.

O modelo dinâmico estruturado, utilizando o sistema DINÂMICA desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais, foi de grande valia pois permitiu a compreensão dos fenômenos envolvidos na mudança de uso da terra, através do método estatístico utilizado no cálculo das associações entre variáveis e mudanças, e nos resultados gerados pelo modelo.

A geração de cenários de uso da terra pelo modelo é uma realidade promissora, dependendo apenas do processo de validação do modelo, o qual deverá ser completado em breve em trabalhos futuros. As simulações geradas pelo modelo neste trabalho, ainda que incipientes, apontaram o potencial do modelo para prever cenários futuros de uso da terra.

Percebe-se que alguns fatores preponderaram sobre outros. É o caso da declividade do solo, que parece ser um dos fatores fundamentais na definição dos processos de ocupação das terras. Em terras mais declivosas, existe a nítida tendência de regeneração da cobertura vegetal natural, o que parece estar ligado ao interesse por terras mais produtivas, a um interesse por culturas mais rentáveis, especialmente o arroz, cultivado em terrenos mais planos e em locais onde haja água para irrigação, bem como à pressão da política ambiental de conservação.

Outro fator importante é a proximidade de centros urbanos. De forma geral, próximo aos centros urbanos ocorrem transições diversas, com predomínio da regeneração da vegetação natural e do reflorestamento. Isto parece estar ligado ao maior interesse em atividades econômicas dos setores secundários e terciários nas próprias cidades do que no setor primário, bem como à pressão da conservação ambiental, maior quanto mais próximo das cidades. Quanto ao reflorestamento, a demanda por energia próximo das cidades é maior e o plantio de espécies produtoras de lenha, como é o caso do eucalipto, também aumenta.

A distância até a infra-estrutura de transporte também funciona como um fator controlador das mudanças de uso da terra. As estradas permitem os fluxos de matérias primas, energia, produtos, insumos e pessoas e por isso atuam de forma diferenciada sobre as transições de uso da terra. De forma geral, transições que têm como destino uma

classe de uso da terra mais economicamente produtiva e menos natural, tendem a ocorrer mais nas proximidades das estradas.

Desta forma, no vale do Itajaí, é possível observar alguns padrões na espacialização. Apesar de alguns ainda obscuros, outros são bastante perceptíveis. É o caso do estabelecimento de arrozeiras na maioria das terras com potencial para esta cultura. Os processos de mudança mais atuais apontam para uma tendência de ocupação das terras planas e com água disponível, sempre que o preço do produto estiver compensando.

Outro padrão bastante visível é a regeneração da vegetação natural em terras com baixo potencial para cultivos e pastagens. Tal padrão tende a ocorrer tanto em função de pressões pela conservação ambiental, mas provavelmente em função do baixo rendimento obtido com atividades agrícolas nestas terras.

Apesar do grande número de informações obtidas neste estudo, ele aponta alguns caminhos a serem seguidos para sua continuidade e melhoria.

Na questão metodológica, três “gargalos de garrafa” precisam ser resolvidos. Em primeiro lugar, a obtenção de dados e informações confiáveis e adequados em termos de unidades de coleta e escala precisa ser mais bem resolvida. O ideal seria pesquisar novas unidades de coleta de dados, menores se possível, como por exemplo, os distritos censitários do IBGE. Unidades menores dariam uma melhor resolução espacial para o modelo e para os cálculos de associação entre os fatores envolvidos nas mudanças de uso da terra. A grande massa de dados, neste caso, seria de difícil análise e acarretaria maiores custos computacionais.

Em segundo lugar, há necessidade de melhorar a resolução temporal do estudo de uso da terra, através da inserção de novas imagens de satélite ao longo do período estudado. A inclusão de mais “momentos” no uso da terra permitiria conhecer melhor ainda os processos de mudança ao longo do tempo e assim, identificar melhor os fatores que atuaram nestas mudanças.

Em terceiro lugar há necessidade de se produzir uma validação adequada do modelo, bem como a geração de cenários futuros de uso da terra.



Por fim, a tomada de decisão ganha em eficiência tanto com o maior conhecimento sobre os processos de mudança de uso da terra, como com a possibilidade de gerar simulações de uso da terra para o futuro, através de um modelo. A pergunta prospectiva elaborada no início do trabalho, “de que forma o uso da terra, seus padrões de espacialização e sua associação com parâmetros físico-naturais e sócio-econômicos pode servir à tomada de decisão”? permite delinear novos caminhos para a pesquisa sobre o uso da terra.

## *Referências Bibliográficas*

- ADAMI R.M. **Macrozoneamento ecológico da bacia de drenagem do rio Itajaí-açu (SC), por intermédio da aplicação de análise multivariada (MULVA) e do cálculo do parâmetro da teoria da informação (CPTI)**, Mestrado Curso de Mestrado em Geografia - Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1995.
- ALBERSEN, P.; FISCHER, F.; KEYZER, M.; SUN, L. **Estimation of agricultural production relations in the LUC Model for China Interim**. Report IR-00-027. International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA. Laxenburg: IIASA, 2000.
- ALBRECHT R.F.; OHIRA M.L.B. Fontes de informação ambiental. **Revista de Estudos Ambientais**, 1(3)???, 1999.
- ALMEIDA, C. M. de; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. **Modelos de Dinâmica Urbana: Conceitos, Derivação de Relações, Calibração, Exemplos**. Módulo 6 do Curso 2: “Modelagem Ambiental e Modelos Dinâmicos de Uso e Cobertura do Solo”, oferecido no XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Centro de Convenções do Mercure Hotel, Belo Horizonte – MG, 06 de abril de 2003.
- ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. **Empiricism and stochastic in cellular automaton modeling of urban land use dynamics**. London: Centre for Advanced Spatial Analysis - CASA. – Working Papers Series, 2002.
- ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. **GIS and remote sensing as tools for simulation of urban land use change**. Report:Third International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, 2002
- ANDERSON P.F. **Land use and natural resource information services for community development**. Land Use Analysis Laboratory. Ottawa: Iowa State University , 1978.
- ANJOS, F.S. **Agricultura familiar em transformação. O caso dos colonos-operários de Massaranduba**, Santa Catarina. Pelotas: Editora da UFPEL, 1995.
- APOSTEL L. **Interdisciplinarietà y ciencias humanas**. Madrid: Technos, 1982.
- BARUFFI E.M.; PLAUTZ, W. **Arroz irrigado - uma análise econômica**. Monografia. Blumenau: 1995.
- BENTLEY SYSTEMS. **MicroStation ReproGraphics User,s Guide**. New York: Bentley Systems, 1997.
- BONHAM-CARTER G. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. New York: Pergamon, 1994.
- BOUSQUET F. et al. **An environmental modelling approach. The use of multi agent simulations**. Paris: Elsevier, 1999.
- BOUSQUET, F. ANTONA M.; WEBER J. **Simulações e gestão de recursos renováveis**.In: Vieira PF and Weber J(eds), 1ed. São Paulo: ????, 2000.

- BRADSHAW, G.A.; BEKOFF M. Integrating humans and nature: reconciling the boundaries of science and society. **Tree** 15(8)309-310, 2000.
- BRASIL - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2004** <http://www.ibge.org.br>. Rio de Janeiro: IBGE, 2004
- BRASIL - EXÉRCITO BRASILEIRO - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Normas provisórias para estruturação e validação de arquivos digitais (NPEVAD)** Porto Alegre, 2002c.
- BRASIL - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vetorização – Metodologia de Validação**, Rio de Janeiro, 2002b.
- BRASIL - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vetorização – Especificações Técnicas**, Rio de Janeiro, 2002a.
- BRASIL - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da série Brasil-geográfico: escala 1:5.000.000, sistema de projeção policônica**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 1997.
- BRASIL - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil - Escala 1:50.000**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. IBGE; 1981; Carta do Brasil.
- BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 2000; The Web Book of Regional Science. Regional Research Institute, West Virginia University. <http://www.rri.wvu.edu/webbook/briassoulis/contents.htm>.
- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**, 1 ed. Oxford. Oxford University Press, 1986.
- BUTZKE, I.C. Considerações sobre a sustentabilidade no meio rural :uma breve análise do caso de Santa Terezinha, Alto Vale do Itajaí, SC. **Revista de Estudos Ambientais**, v.1, n.1, pp.62-76, 1999.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 1 ed. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 1998.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, C.B.; CASANOVA, M.A. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Escola de Computação - SBC. 1996.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à modelagem dinâmica espacial. 2003; Belo Horizonte**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CDROM.
- CASTAÑO, Y.A.; MAGDALENO, M.I.A. **El proceso de validación de los modelos socio-económicos dinámicos**. Dpto. de Administración de Empresas y Contabilidad. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
- CHANDRASENA, U.A. Land use change and related issues in the suburban environment in Colombo Metropolitan Region of Sri Lanka. **Land Use and Cover Change**, v.17, n.196, 2001.

- CHORLEY, R.J.; HAGGET, P. **Modelos sócio-econômicos em geografia**. São Paulo. Editora da USP, 1973.
- CHRISTOFOLETTI, A.. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo. Edgar Blucher. 1999.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**, 1 ed. Rio de Janeiro. Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- COMITÊ DO ITAJAÍ. **Bacia hidrográfica do rio Itajaí**. Consulta em <http://www.comiteitajai.org.br>, realizada em novembro de 2004.
- COUTINHO, A.C. **Segmentação e classificação de imagens Landsat-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de campinas, SP**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997
- DEADMAN, P. BROWN, R.D.; GIMBLETT, H.R. Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata. **Journal of Environmental Management**, v.1993, n.37, pp.147-160, 1993.
- ECKART, J.D. **A cellular automata simulation system**. 12p. Documento eletrônico. Página Pessoal do autor em <http://staff.vbi.vt.edu/dana/ca/cellular.shtml>. 1998.
- EKINS, P. **Making Development Sustainable**. In: Sachs W(ed), Global Ecology. Chapter 6. Halifax. Fernwood Books Ltd., 1993.
- ESRI. 2001. **Getting to Know ArcGIS Desktop**. Tim Ormsby; Eileen Napoleon; Robert Burke; Laura Feaster. ESRI Press. Red Lands, 2001. 552p.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Organização das Nações Unidas (ONU). **Potenciais for agricultural and rural development in latin america and the caribbean**. FAO. Roma, 1988.
- FAURE, G.O. A constituição da interdisciplinaridade. **Revista Tempo Brasileiro**. v. 1, n.1. 1992.
- FERREIRA, A.B.H. **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro. Nova Fronteira, 1988.
- FISCHER, G. ERMOLIEV, Y. KEYSER, M.A.; ROSENZWEIG, C. **Simulating the socio-economic and biogeophysical driving forces of land-use and land-cover change: The IIASA land-use change model**, Report:WP-96-010. IIASA. Laxembourg, 1996.
- FISCHER, G. MAKOWSKI, M.; ANTOINE, J. **Multiple criteria land use analysis**, Report:WP-96-006. IIASA. Laxembourg, 1996.
- FISTAROL, O. **Sistemas de informação para recursos hídricos da bacia do Itajaí: projeto piloto da bacia do rio Benedito**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (Mestrado). Universidade Regional de Blumenau, 2004.
- FOHRER, N. MÖLLER, D.; STEINER, N. An interdisciplinary modelling approach to evaluate the effects of land use change. **Physics and Chemistry of the Earth**. v. 27, pp.655-662, 2001.

- FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics**. Cambridge. University Press, 1995. 611p.
- FORMAN, R.T.T, GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York. John Wiley & Sons, 1986.
- FRANK, B. **Uma história das enchentes e seus ensinamentos**. In: FRANK, B. PINHEIRO, A. (org.). Enchentes na bacia do Itajaí – 20 anos de experiências . Blumenau. Edifurb, 2003. p.15-62.
- \_\_\_\_\_. Uma abordagem para a gestão ambiental da Bacia do Rio Itajaí, com ênfase ao problema das cheias. **Revista de estudos ambientais** 1(1): 5-18, 1999.
- \_\_\_\_\_. **Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.
- FRANK, B.; VIBRANS, A.C. **Uma visão integrada da bacia hidrográfica**. In: FRANK, B. PINHEIRO, A. (org.). Enchentes na bacia do Itajaí – 20 anos de experiências. Blumenau: Edifurb, 2003. p.191-222.
- FULONG, W.D.M. Urban expansion simulation of Southern England using population surface modeling and cellular automata. **Environment and Planning** 34(10):1855-76. 2002.
- GARCIA, R. **Interdisciplinarid y sistemas complejos**. In: Leff E(ed), Ciencias sociales y formacion ambiental. Barcelona. Gedisa, 1994.
- GODARD, O.; LEGAY, J.M. **Modelização e simulação: um enfoque da preditividade**. In: Vieira PF and Weber J(eds), Gestão de recursos naturais e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo. Editora Cortez, 2000.
- GONÇALVES, C.W.P. **Os (des)caminhos do meio ambiente**. São Paulo. Editora Contexto, 1990.
- GUATTARI, F. Fundamentos ético-políticos da interdisciplinaridade. **Revista Tempo Brasileiro**. v. 1, n.1. 1992.
- HEILIG, G.K. **Anthropogenic driving forces of land-use change in China**, Report:WP-96-011. IIASA. Laxembourg, 1996.
- HEILIG, G.K. **Lifestyle and global land-use change: data and theses**. Laxemburg. IIASA, 1995.
- JOLLIVET, M.; PAVÉ, A. **O meio ambiente: questões e perspectivas para a pesquisa**. In: Vieira PF and Weber J(eds), Gestão de recursos naturais e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental. 2ed. São Paulo. Editora Cortez, 2000.
- KLEIN, R.M. **Ecologia da flora e vegetação do vale do Itajaí**. Sellowia. 31/32. Herbário Barbosa Rodrigues. Itajai, 1979.
- LAY, J.G. **A Land Use Change Study using Cellular Automata** Gis Development Proceedings 2000. Taipei, 2000.
- LEFF, E. **Complexidade ambiental**. São Paulo. Editora Cortez, 2003.

- \_\_\_\_\_. **Epistemologia Ambiental**. São Paulo. Editora Cortez, 2001.
- LEROY, J.P.; ACSELRAD, H. **Novas premissas para a construção de um Brasil sustentável**. In: Rattner H(ed), Brasil no limiar do século XXI: alternativa para a construção de uma sociedade sustentável. 1ed. Chapter Parte III – 1. São Paulo. Editora da USP, 2000
- LIPIETZ, A.. **O capital e seu espaço**. São Paulo. Nobel, 1988.
- LILLESAND, T.M.; KIEFFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**, 4 ed. New York. John Wiley, 2000.
- LOPES, E.S.S. **Curso GIS Introdução**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2000. Meio Eletrônico.
- MATTEDI, M.A. **Subsídios para uma análise das relações sociedade - natureza no vale do Itajaí**. In: Theis IM, Mattedi MA, and Tomio FRL(eds), Nosso passado (in)comum: contribuições para o debate sobre a história e a historiografia de Blumenau. 1ed. Chapter VIII, Blumenau, Editora da FURB e Editora Cultura em Movimento, 2000.
- MERCHANT, C. **Radical Ecology - The search for a livable world**, 1 ed. New York. Routledge, 1992.
- MONTEIRO, C.A.F. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar do ambiente. **Revista Ciências Humanas**, v.14, n.18, pp.67-101, 1995.
- MORIN, E. **O método 5 - a humanidade da humanidade**, 1 ed. Porto Alegre, Sulina, 2002.
- MORIN, E. **Epistemologia da complexidade**. In: Schnitman DF(ed), Novos Paradigmas, Cultura e Subjetividade. Chapter IV - 16, Porto Alegre, Artes Médicas, 1996.
- MORIN, E. **O paradigma perdido - a natureza humana**, 5 ed. Lisboa. Publicações Europa América, 1973.
- NOLDIN, J.A. **Arroz irrigado e degradação ambiental** A Notícia. 2003; 7 de junho de 2003. Joinville.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**, 1 ed. São Paulo. Edgard Blucher, 1989.
- ORMSBY, T. et al. **Getting to know arcgis desktop**, Red Lands. ESRI Press, 2001.
- O'SULLIVAN, D.; TORRENS P.M. **Cellular Models of Urban Systems, Centre for Advanced Spatial Analysis**. University College London. London, 2000.
- OUTHWAITE, W.; BOTTOMORE, T. **Dicionário do pensamento social do século XX**, 1 ed. Rio de Janeiro. Zahar, 1996.
- PAREDES, E.A.. **Sistemas de informação geográfica e geoprocessamento - princípios e aplicações**, 1 ed. São Paulo, Erica, 1994.
- PEDROSA, B.; CÂMARA, G. **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento**. 2003; pp.1-39. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

- PEET, R.; WATTS, M. **Liberation Ecologies - Environment, Development, Social Movements**, London. Routledge, 1996.
- PIAZZA, W.F. **A colonização de Santa Catarina**, 2 ed. Florianópolis. Lunardelli, 1988.
- \_\_\_\_\_. **Santa Catarina: sua história**, Florianópolis. Editora da UFSC, 1983.
- PINHEIRO, A. Enchentes, erosao e vegetacao em contexto integral. **Revista de Divulgação Cultural**, v.13, n.44, pp.109-112, 1990.
- PINHEIRO, A.; MORIN, G. Considerações sobre a previsão de cheias em tempo real. **Revista de Estudos Ambientais**, v.1, n.1, 1999.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança**. Brasília. Editora da UNB, 1991.
- RATTNER, H. **Brasil no limiar do século XXI**, São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2000.
- \_\_\_\_\_. **Liderança para uma sociedade sustentável**, São Paulo. Nobel, 1999.
- RAUD, C. **Indústria, território e meio ambiente no Brasil**, Blumenau. Editora da FURB, 1999.
- REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A.; PINHEIRO, I. G.. Emprego de imagens orbitais na determinação da capacidade de interceptação da bacia do Rio Itajaí - SC. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2001, Aracaju. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. v. 1. p. 1-6.
- REFOSCO, J. C.; VIBRANS, A.; PINHEIRO, A. *et al.* Sensoriamento Remoto para o Vale do Itajaí. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE/SELP, 2001.
- RIBEIRO, D. **O processo civilizatório. Estudos de antropologia da civilização. Etapas da evolução sócio cultural**, Petrópolis. Vozes, 1985.
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**, 2 ed. Berlin. Springer-Verlag, 1993.
- SACHS, I. **Sociedade, cultura e meio ambiente**. Mundo e Vida. v. 2, n.1. pp.7-13, 2000.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**, 3 ed. São Paulo. Hucitec, 1999.
- \_\_\_\_\_. **A redescoberta da Natureza**. Revista de Estudos Avançados 6(14)95-106. São Paulo, 1992.
- SCHATTEN, A. **Cellular automata - Digital Worlds**. 2003; [www.ifs.tuwien.ac.at/~aschatt/ca/ca\\_print.html](http://www.ifs.tuwien.ac.at/~aschatt/ca/ca_print.html)

- SCHEIBE, L.F. **Geografia e interdisciplinaridade: um debate**, Não Publicado. 1996.
- SCHMIDT-LAINÉ, C.; PAVÉ A. Environnement: modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. **Nature Sciences Sociétés**. v. 10, n.1. pp.5-25, 2002.
- SCHOTTEN, K. et al. Residential construction, land use and the environment. Simulations for the Netherlands using a GIS-based land use model. **Environmental Modeling & Assessment**, pp.133-143, 2001.
- SIEBERT, C.; PEIXER, K.T. **Análise dos vínculos sócio-econômicos regionais do médio vale do itajaí**. Blumenau: Fórum de Desenvolvimento Regional do Médio Vale do Itajaí. 2001.
- SIEBERT, C. **Estruturação e desenvolvimento da rede urbana do vale do Itajaí**. Blumenau, Editora da FURB, 1997.
- SOARES FILHO, B.S. et al. Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. pp.721-728, Belo Horizonte. 2003.
- SOARES FILHO, B.S. ARAÚJO, A.A.; CERQUEIRA, G.C. "Dinamica um software pra simulação de dinâmica de paisagens. **Anais do II Workshop em Tratamento de Imagens**. Belo Horizonte. 2001.
- SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, 2003.
- SOUZA, C.M.M. **Avaliação ambiental estratégica como subsídio para o planejamento urbano**, Doutorado Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- SOUZA, M.L. **O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento**. In: Castro I, Castro P.C.C., and Corrêa R.L.(eds), *Geografia: Conceitos e Temas*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1995.
- \_\_\_\_\_. **O desafio metropolitano - um estudo sobre a problemática espacial nas metrópoles brasileiras**, Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2000.
- TEILHARD DE CHARDIN, P. **O fenômeno humano**, 5 ed. São Paulo. Editora Cultrix, 2001.
- THEIS, I.M. Diagnóstico energético municipal: contribuição ao planejamento energético na perspectiva do desenvolvimento regional sustentável. **Revista de Estudos Ambientais**, v.1, n.3, pp.5-13, 1999.
- \_\_\_\_\_. Políticas públicas municipais e sustentabilidade sócio-ambiental: o caso da sub-bacia do rio Benedito, Santa Catarina. **Geosul**, v.13, n.26, pp.53-74, 1998.
- THEIS, I.M.; MATTEDI, M.A.; TOMIO, F.R.L. **Nosso Passado (In)comum: contribuições para o debate sobre a história e a historiografia de Blumenau**. Blumenau. Editora da FURB e Editora Cultura em Movimento, 2000.

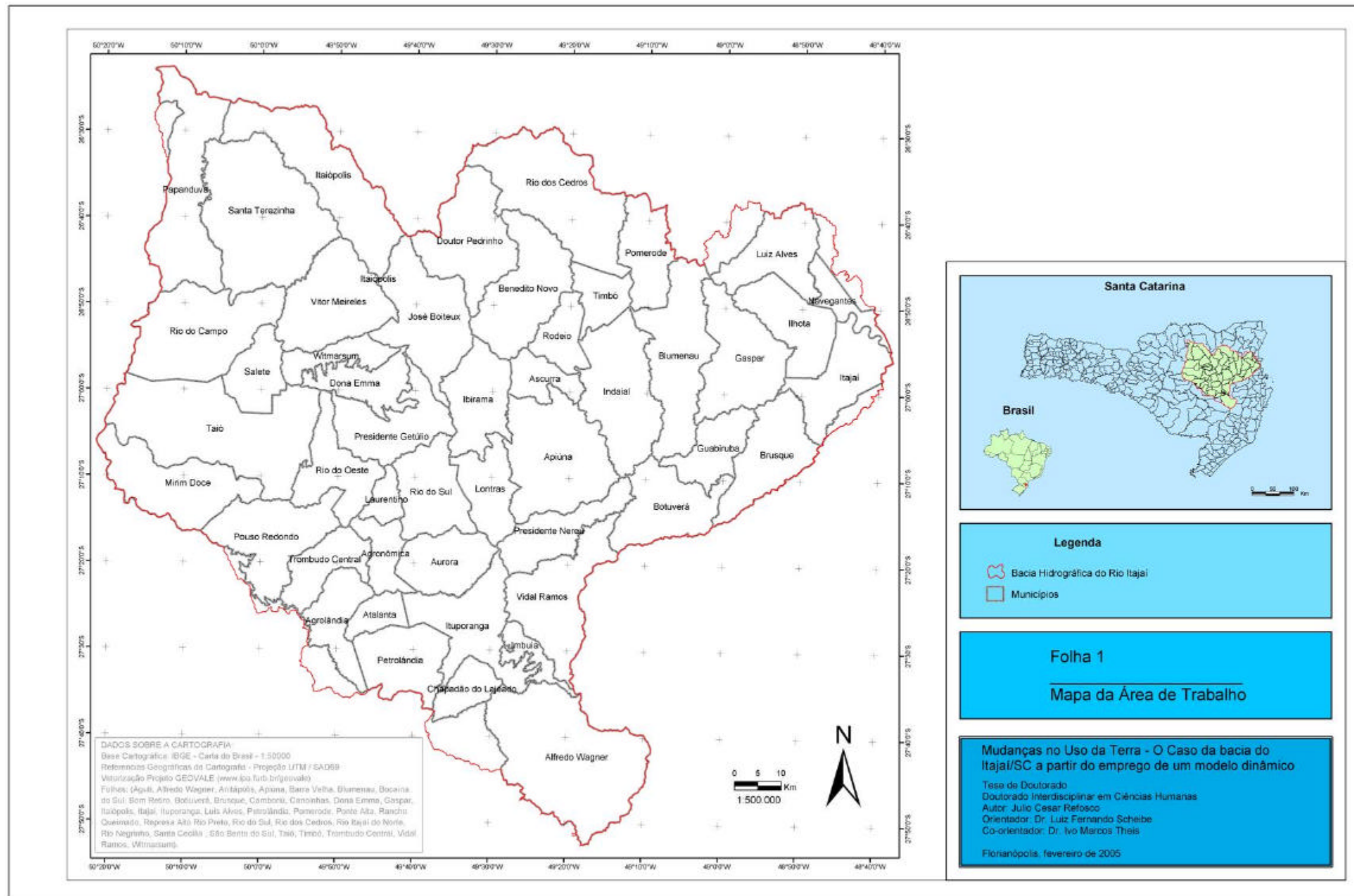


- TORRENS, P.M. **How cellular models of urban systems work – 1 theory**. London: Centre for Advanced Spatial Analysis - CASA. – Working Papers Series, 2000.
- TURNER, M.G. COSTANZA, R.; SKLAR, F. Methods to evaluate the performance of spatial simulation models. **Ecological Modelling**. 1989(48)1-18, 1989.
- UNGERER, M.J. Implementation of cellular automata models in a raster GIS dynamic modeling environment: an example using the Clarke Urban Growth Model. **4TH International Conference On Integration Gis and Environmental Modelin (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs**. Banff: , 2000.
- VAN MINNEN, J.G.; FISCHER, G.; STOLBOVOI, V. **A land-cover classification for modeling natural land cover within the IIASA luc project**. Report:WP-96-026, Laxembourg, 1996.
- VERBURG, P.H.; SOEPBOER, W.; VELDKAMP, A; LIMPIADA, R.; ESPALDON, V.; MASTURA, S.S.A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the clue s model. **Environmental Management** 30(3)391-405, 2002.
- VIBRANS, A. C.; REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A.. Uma metodologia para a caracterização rápida da vegetação em levantamentos terrestres para fins de interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Foz do Iguaçu. **ANAIS do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu: INPE/SELPER, 2001. CD ROM.
- VIBRANS, A.C. **A cobertura florestal da Bacia do Rio Itajaí : elementos para uma análise histórica**. Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2003.
- WOLFRAM, S. **Emerging Syntheses in Science: Proceedings of the Founding Workshops of the Santa Fe Institute**, (Addison-Wesley, 1988) 183-189. <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/88-complex/>. Consulta realizada em 31 de outubro de 2004.

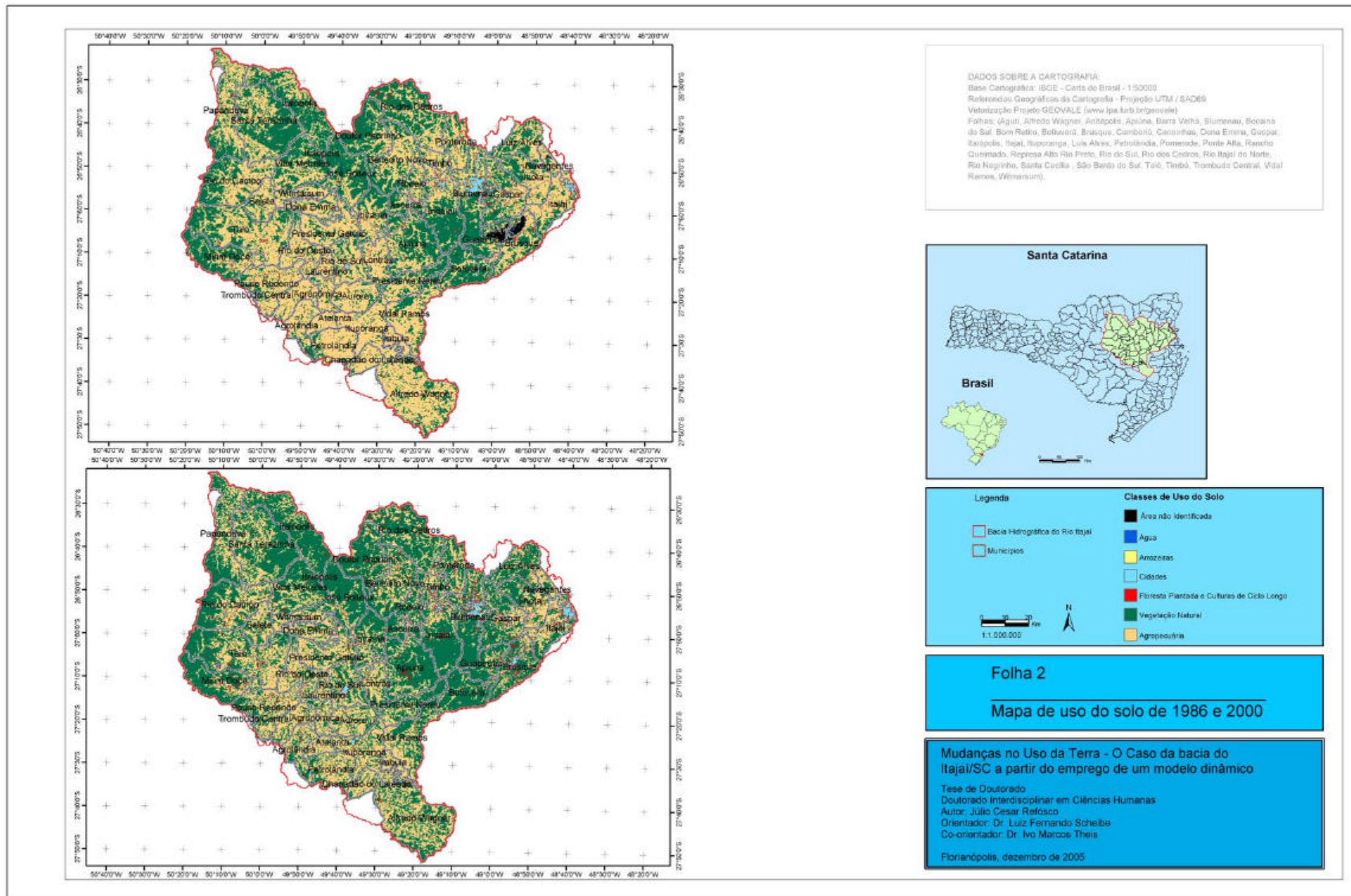
## *Anexos*

**Cartografia**

A seguir são anexados materiais cartográficos comentados no texto, necessários à compreensão do trabalho realizado. Os mapas foram impressos em padrão A2, pois se tratava do tamanho mais adequado para a escala sugerida. Em exemplares impressos a partir do original em formato PDF, deverá ser utilizada a escala gráfica pois pode haver distorções na impressão.

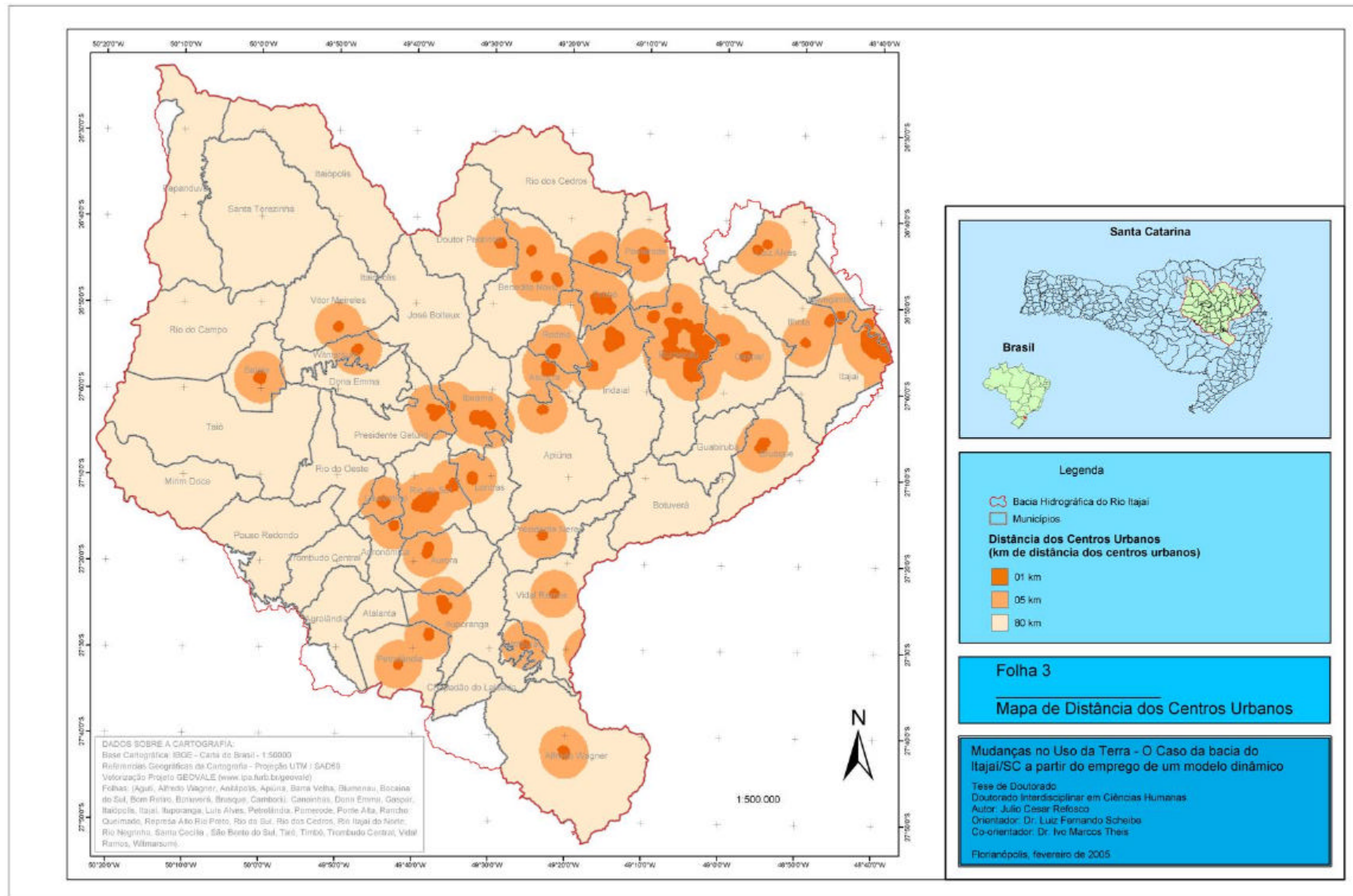


Folha 1 – Mapa da área de trabalho Fonte: elaboração do autor.

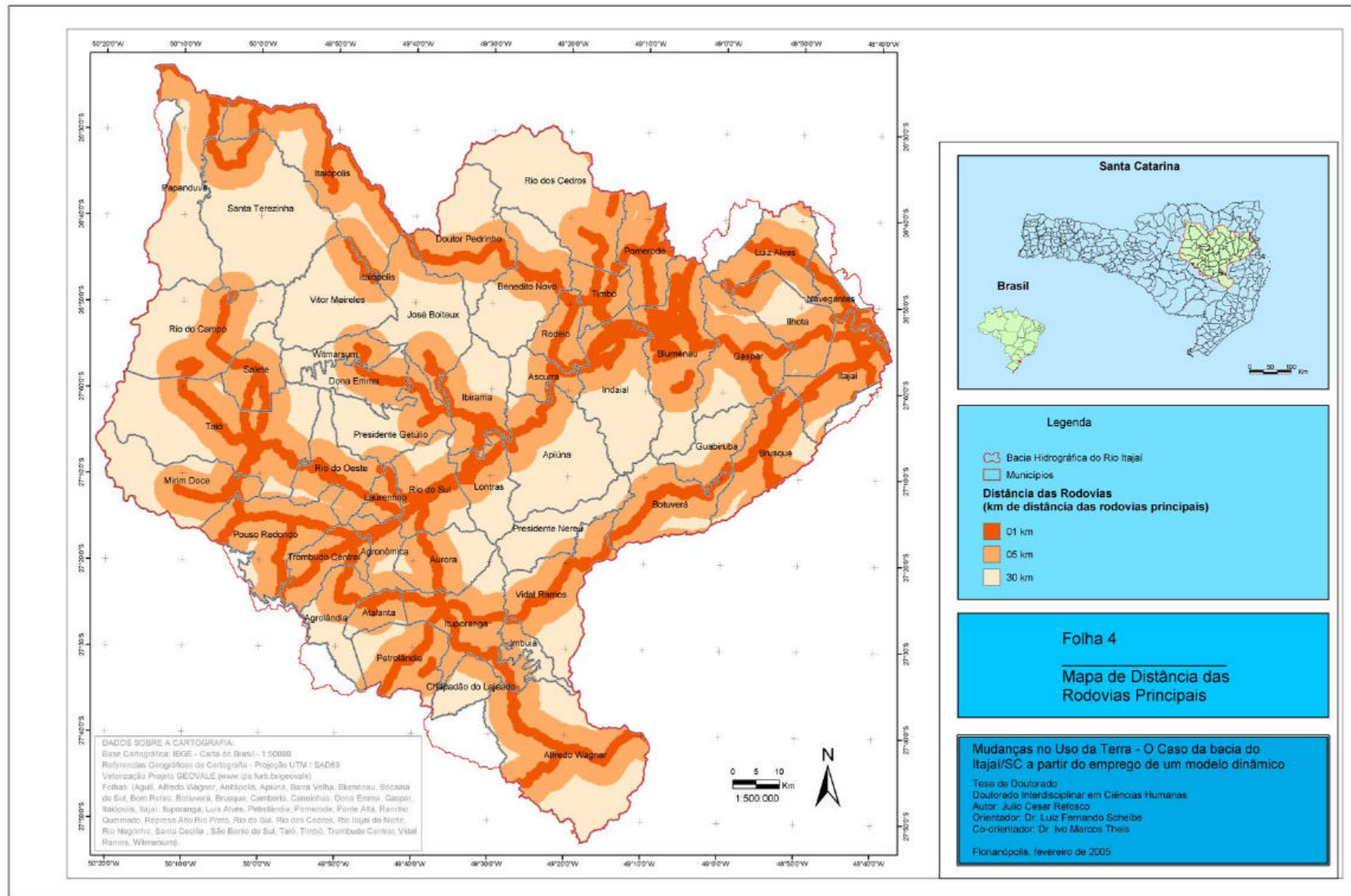


Folha 2 – Mapa de uso da terra em 1986 e 2000 Fonte: elaboração do autor.



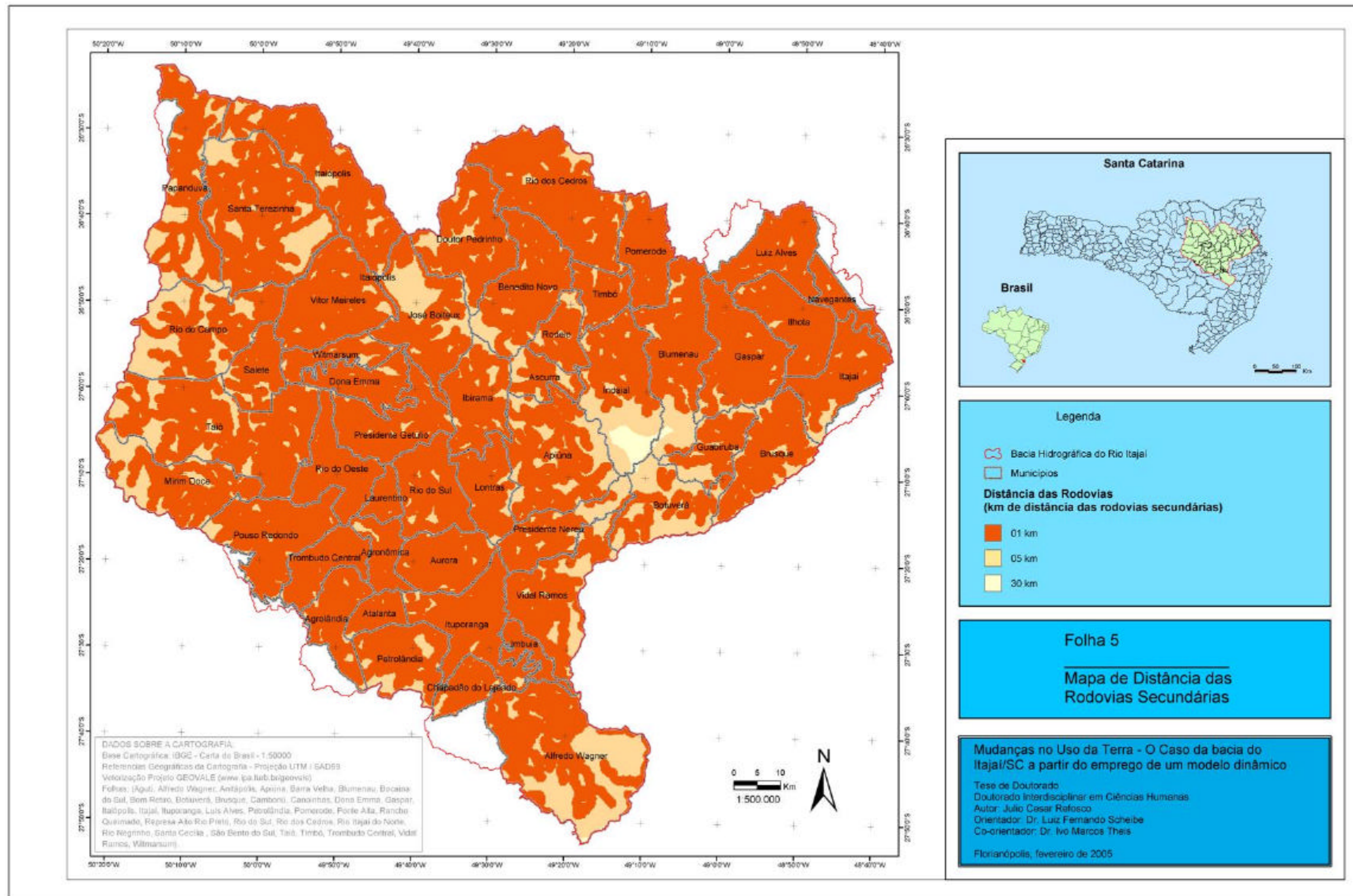


Folha 3 – Mapa de distâncias dos centros urbanos. Fonte: elaboração do autor.



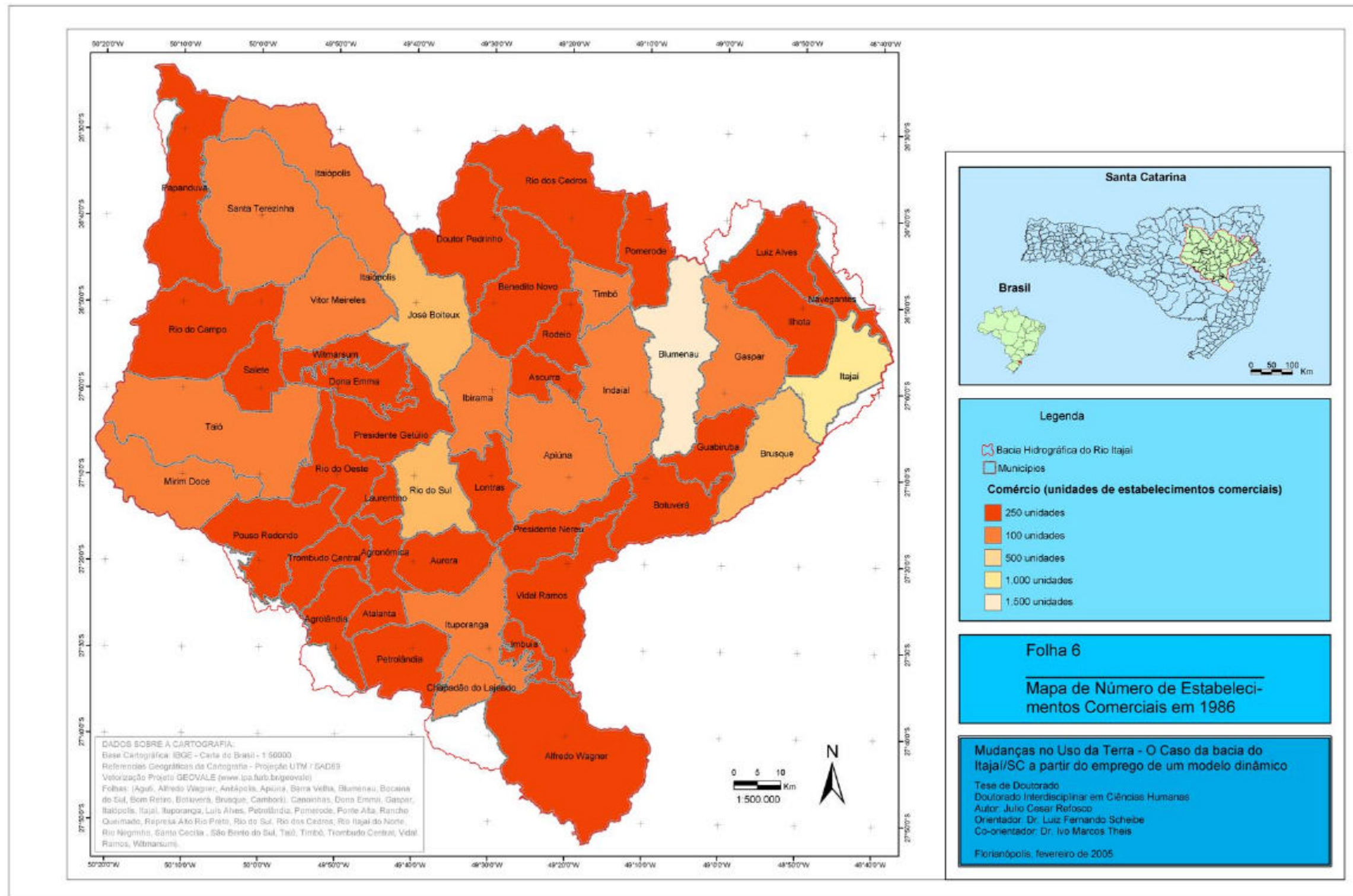
Folha 4 – Mapa de distâncias das rodovias primárias. Fonte: elaboração do autor.



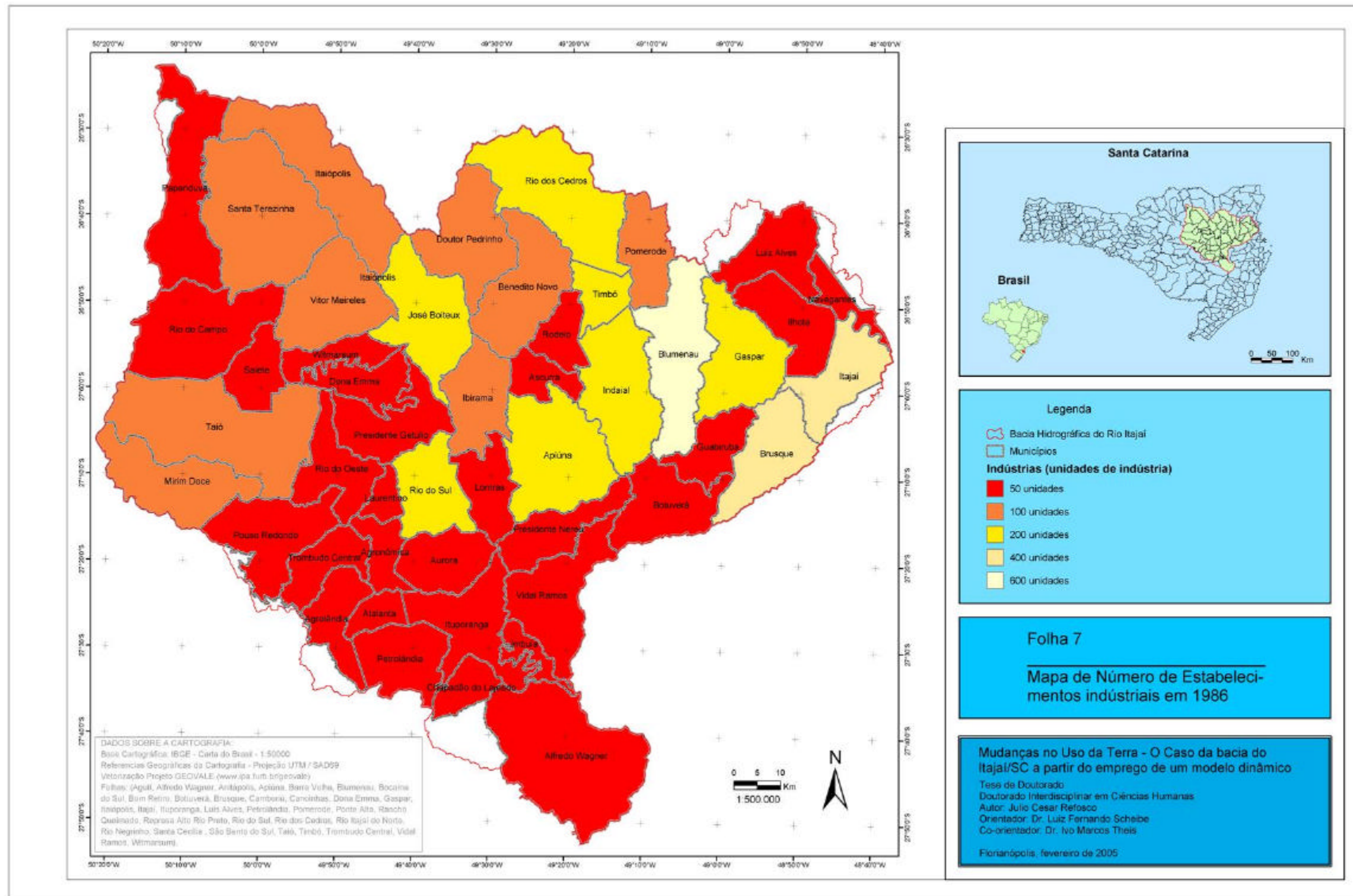


Folha 5 – Mapa de distância das rodovias secundárias. Fonte: elaboração do autor.



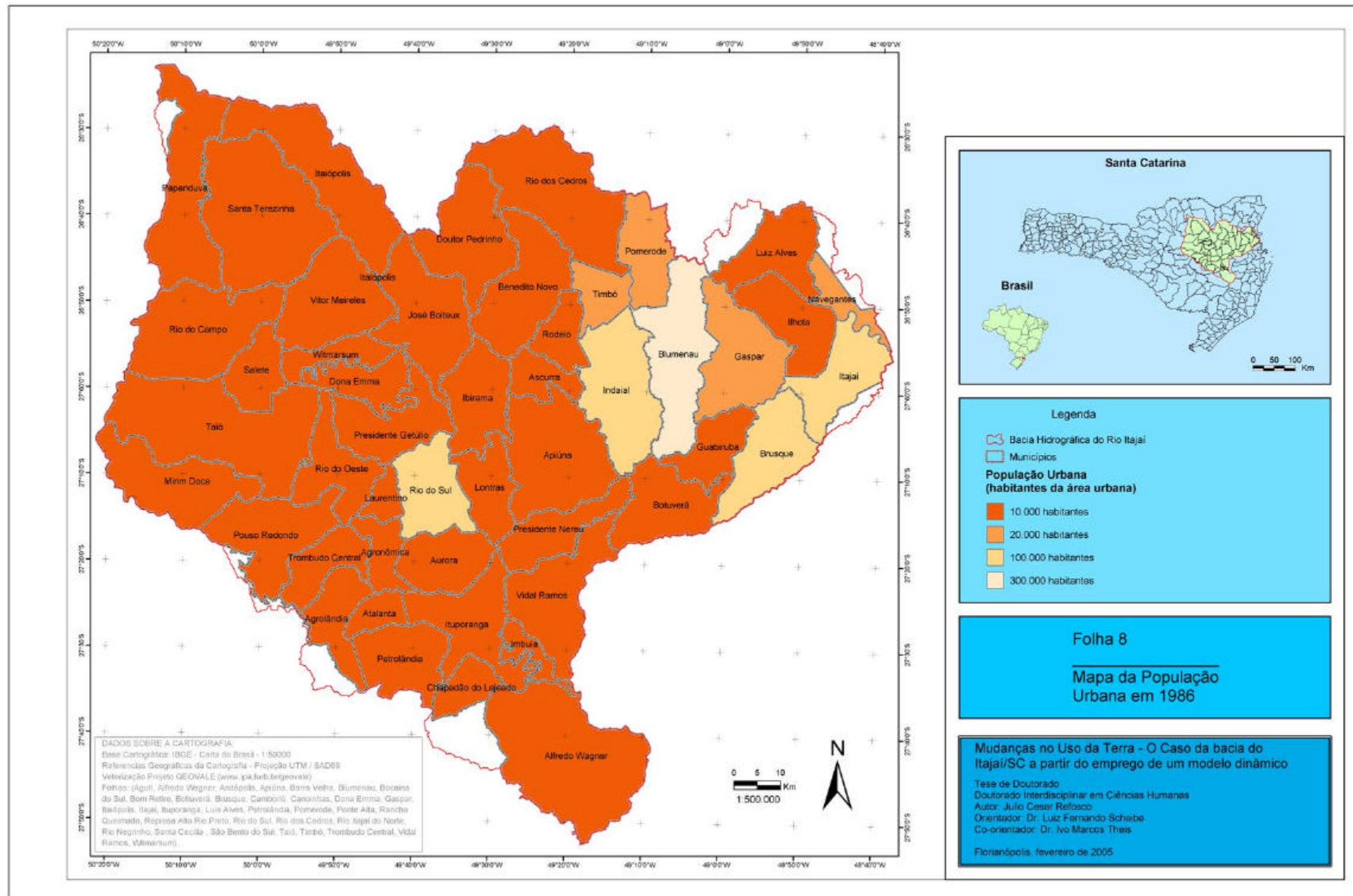


Folha 6 – Mapa de número de estabelecimentos comerciais em 1986. Fonte: elaboração do autor.

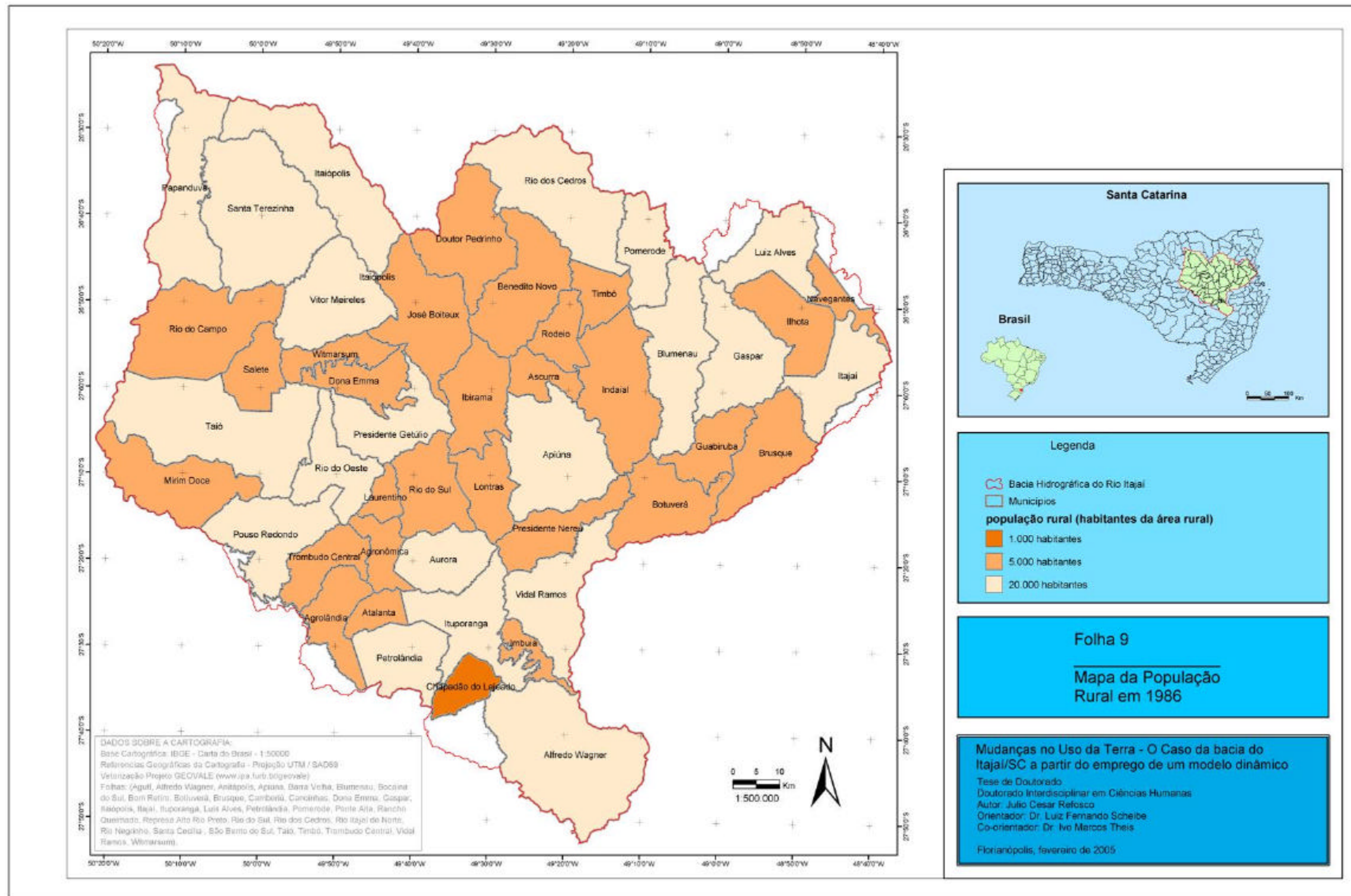


Folha 7 – Mapa de número de estabelecimentos industriais em 1986. Fonte: elaboração do autor.



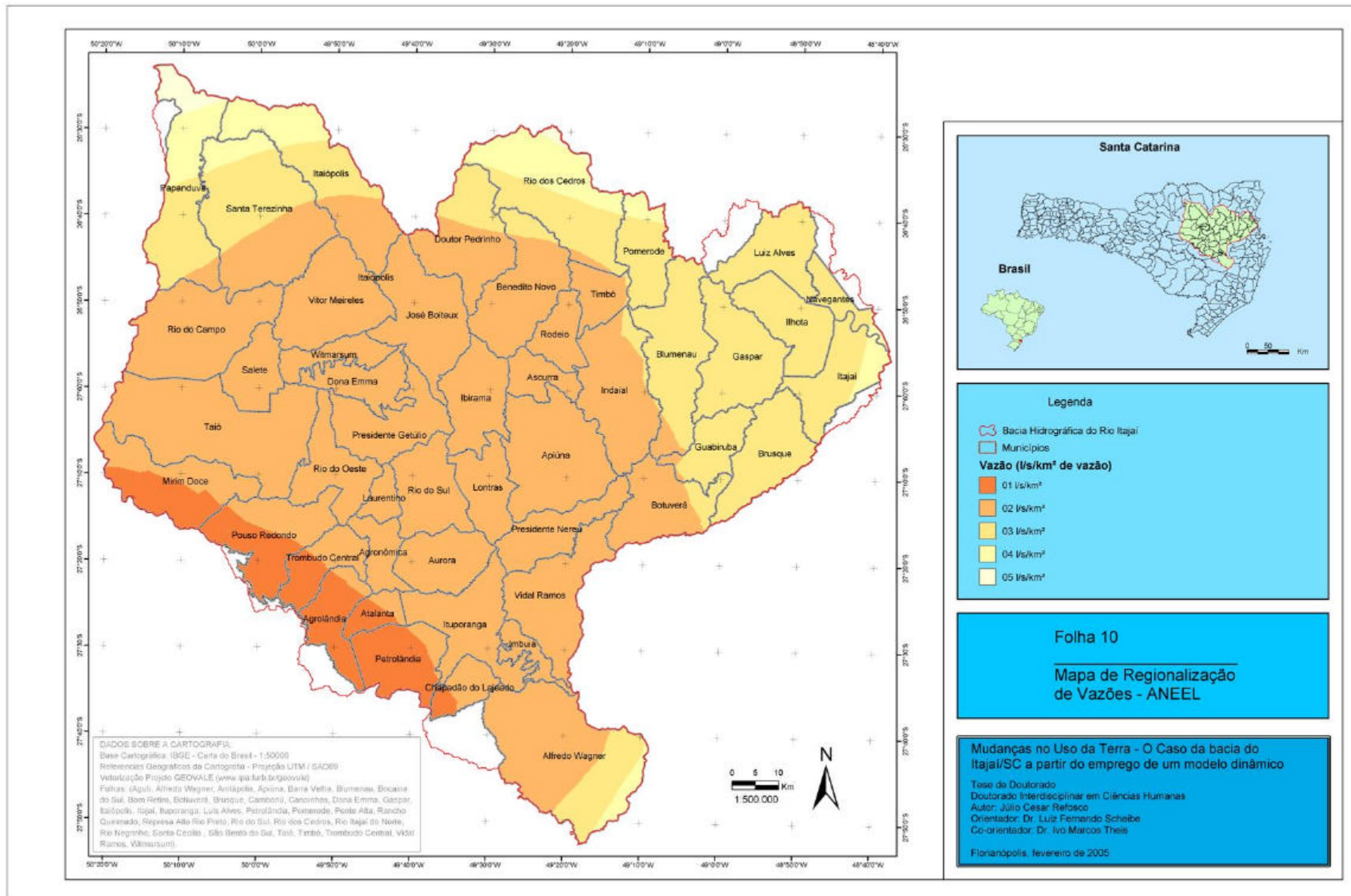


Folha 8 – Mapa de população urbana em 1986. Fonte: elaboração do autor.



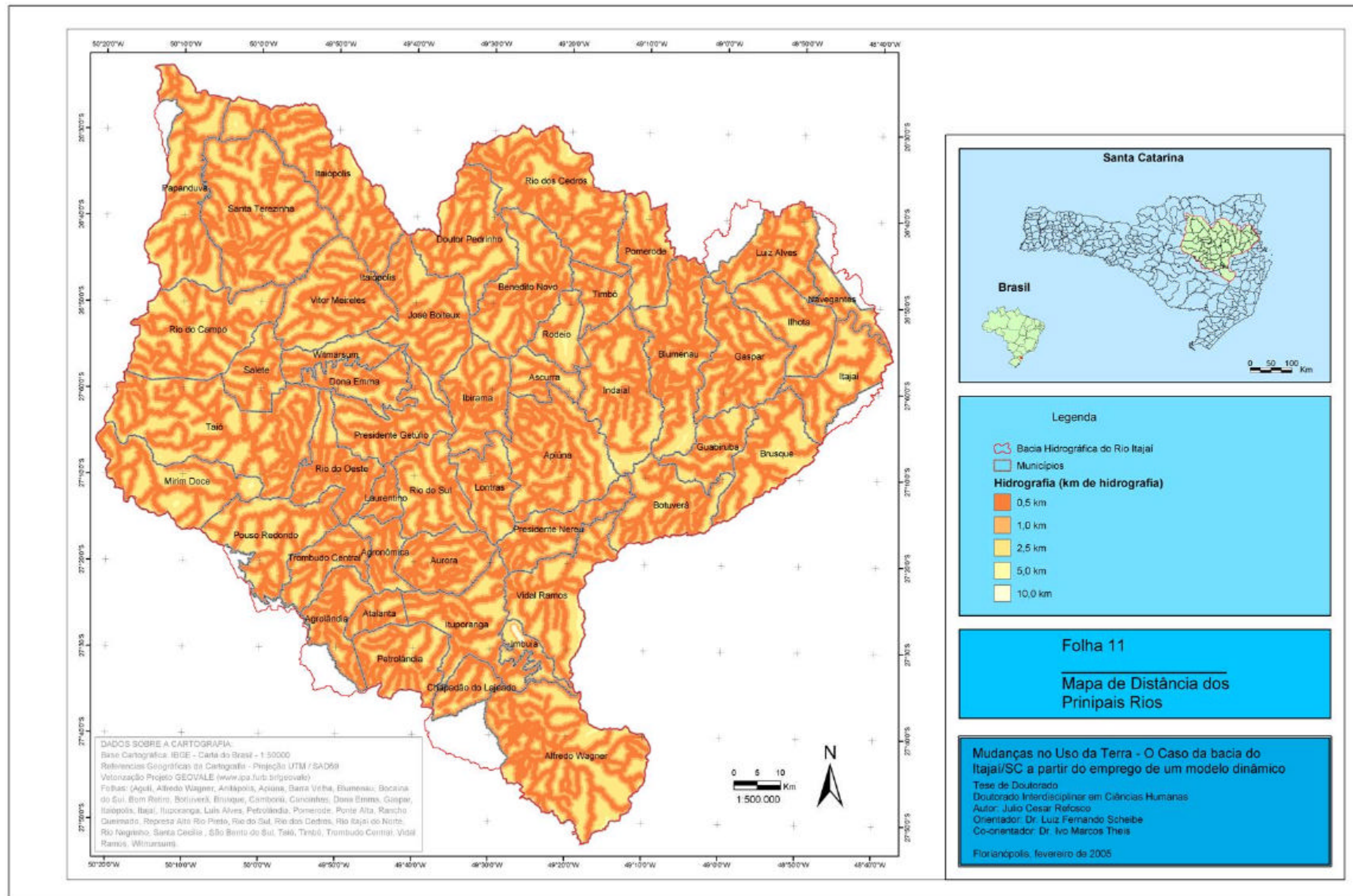
Folha 9 – Mapa de população rural em 1986. Fonte: elaboração do autor.





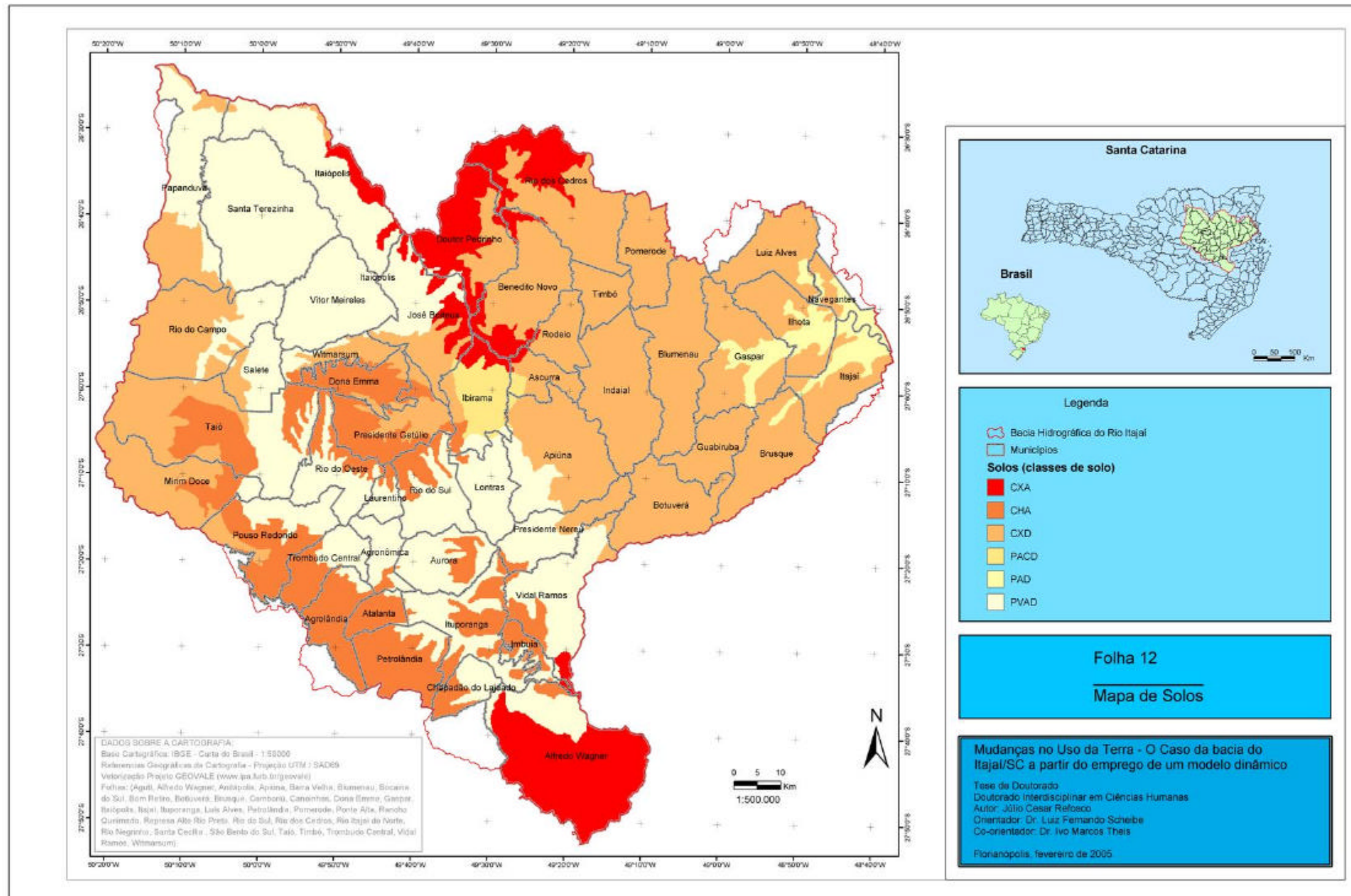
Folha 10 – Mapa de regionalização de vazões. Fonte: elaboração do autor.





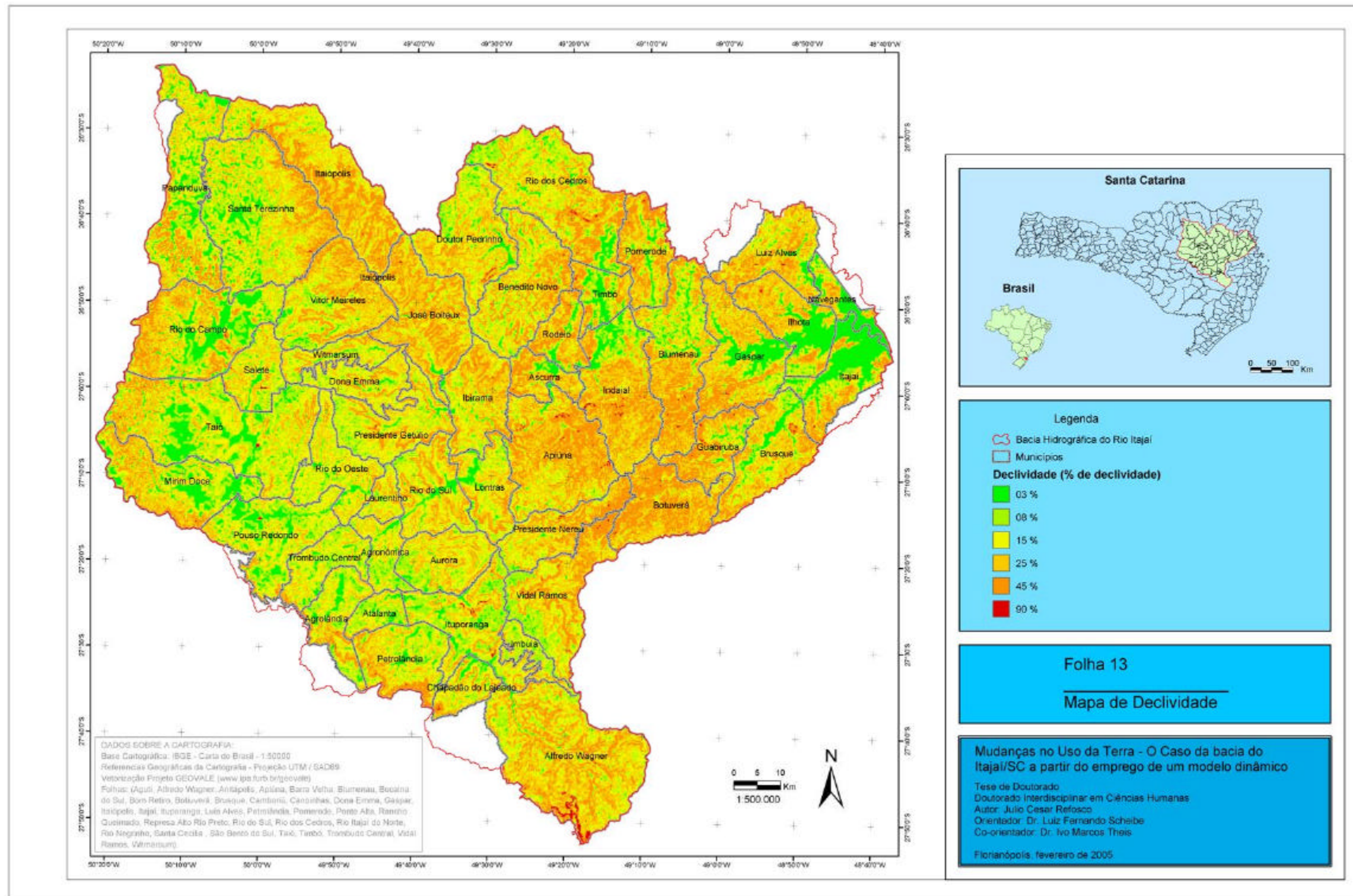
Folha 11 – Mapa de distâncias dos rios principais. Fonte: elaboração do autor.





Folha 12 – Mapa de solos. Fonte: elaboração do autor.





Folha 13 – Mapa de declividade do solo. Fonte: elaboração do autor.



## Lista de referências bibliográficas da Tabela 2

A lista de referencias bibliográfica a seguir se refere aos autores citados na Tabela 2 da página 69.

Alcamo, J., ed. 1994. **IMAGE 2.0 Integrated Modeling of Global Climate Change**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Anas, A. 1982. **Residential Location Markets and Urban Transportation: Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models**. Oxford: Academic Press.

Anas, A. 1983a. The **Chicago Area Transportation and Land Use Analysis System. Urban and Regional Planning Program**, Department of Civil Engineering, Northeastern University, April.

Batty, M. 1976. **Urban Modeling: Algorithms, Calibrations, Predictions**. Cambridge: Cambridge University Press.

Crecine, J.P. 1964. TOMM (Time Oriented Metropolitan Model), **CRP Technical Bulletin**, No.6, Dept. of City Planning, Pittsburgh.

Crecine, J.P. 1968. **A Dynamic Model of Urban Structure**. P-3803, RAND Corporation: Santa Monica, Ca.

Daly, H. E. 1968. On Economics as a Life Sciences. **Journal of Political Economy**. 76: 392-406.

De la Barra, T. 1989. **Integrated Land Use and Transport Modeling**. Oxford: Cambridge University Press.

Echenique, M.H., D.J. Anthony, J. Flowerdew, D. Hunt, T.R. Mayo, I.J. Skidmore, and D.C. Simmonds. 1990. The MEPLAN Models of Bilbao, Leeds and Dortmund. **Transport Reviews**. 10: 309-322.

- Engelen, G., R. White, I. Uljee and P. Drazan. 1995. Using Cellular Automata for Integrated Modeling of Socio-Environmental Systems. **Environmental Monitoring and Assessment**. 34: 203-214.
- Fischer, G., Ermoliev, Y., Keyzer, M.A. and Rosenzweig, C. 1996a. **Simulating the Socio-Economic and Biogeophysical Driving Forces of Land-Use and Land-Cover Change**. WP-96-010. Laxenburg: IIASA.
- Garin, P. 1966. **A Matrix Formulation of the Lowry Model for Intra-Metropolitan Activity Location** Journal of the American Institute of Planners 32: 361-364.
- Goldner, W., S.S. Rosenthal and J.R. Meredith. 1971. **Plan Making with a Computer Model**. Vols I-III. Berkeley: University of California, Institute of Transportation and Traffic Engineering.
- Isard, W. 1972. **Ecologic-Economic Analysis for Regional Development**. New York: Free Press.
- Kain, J.F. 1986. Computer Simulation Models of Urban Location. In: **Handbook of Regional and Urban Economics**. Vol. 2, ed. E.S. Mills, 847-875. Amsterdam: North-Holland.
- Landis, J. 1994. The California Urban Futures Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models. **Environment and Planning B**: 21: 399-420.
- Leontief, W., A. Carter, and P. Petrie. 1977. **Future of the World Economy**. New York: Oxford University Press.
- Liverman, D.M. 1989. Evaluating Global Models. **Journal of Environmental Management** 29: 215-235.
- Lutz, W., ed. 1994a. **Population-Development-Environment: Understanding their Interactions in Mauritius**. Berlin: Springer-Verlag.
- Rothenberg-Pack, J. 1978. Urban Models: Diffusion and Policy Application. **Monograph Series No.7**, Philadelphia: Regional Science Research Institute.

Rounsevell, M.D.A., ed.1999. Spatial Modeling of the Response and Adaptation of Soils and Land Use Systems to Climate Change – An Integrated Model to Predict European Land Use (IMPEL). **Research Report for the European Commission, Framework IV Programme, Environment and Climate**. Contract Nos. ENV4-CT95-0114 and IC20-CT96-0013.

Seidman, D.R. 1969. The Construction of an Urban Growth Model. **Plan Report No.1, Technical Supplement, Vol. A**, Delaware Valley Regional Planning Commission, Philadelphia.

Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1996b. CLUE-CR: An Integrated Multi-Scale Model to Simulate Land Use Change Scenarios in Costa Rica. **Ecological Modeling** 91: 231-248.

Victor, P. 1972. **Pollution: Economy and Environment**. Toronto: University of Toronto Press.

Wegener, M. 1982. Modeling Urban Decline: A Multi-Level Economic-Demographic Model for the Dortmund Region. **International Regional Science Review** 7(2): 217-241.

White, R. and G. Engelen. 1994. Cellular Dynamics and GIS: Modeling Spatial Complexity. **Geographical Systems** 1(3): 237-253.

Wilson, A.G. 1974. **Urban and Regional Models in Geography and Planning**. New York: John Wiley.

**Tabela de transições de uso da terra nos municípios da área de estudo.**

Tabela 22 – Tabela de transições de uso da terra nos municípios. Fonte: elaboração do autor.

Transições	A	AR	C	FP	VN	AG	A	AR	C	FP	VN	AG	ANI	A	AR
Municípios	A	A	A	A	A	A	AR	AR	AR	AR	AR	AR	C	C	C
Agrolândia	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0,125	0,25	0,313	0,313	0	0	0,063
Agronômica	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,375	0,5	0,438	0,563	0	0	0
Alfredo Wagner	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apiúna	0	0,063	0,063	0	0,188	0,063	0	0,125	1,063	0,688	0,5	0	0	0,063	0,313
Ascurra	0	0	0	0	0	0	0	0,188	0,563	0,313	0,125	0,875	0	0	0,125
Atalanta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aurora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0	0
Benedito Novo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0
Blumenau	0	0,438	0,375	0,25	0	0	0,063	0,75	2	0,5	0,25	0,125	0	0	0,688
Botuverá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brusque	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,125	0	0	0	1,75	0,313	0,25
Chapadão do Lajeado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dona Emma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Doutor Pedrinho	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,188	0,25	1,5	0	0	0
Gaspar	0	0,125	0,188	0,125	0	0	0	2,375	3	2,5	1,375	1,813	0	0	0,938

## Continuação da Tabela 22.

Guabiruba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,063	0
Ibirama	0,063	0,125	0,063	0,125	0	0	0,063	0,313	0,625	0,688	0,063	0	0	0,063	0,438
Ilhota	0	0	0,063	0,063	0,063	0	0	1,563	1,313	1,188	1,5	5,688	0	0	0,313
Imbuia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Itaiópolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indaial	0,25	0,125	0,688	0,125	0	0	0,25	0,25	1,063	0,813	0,563	0,438	0	0	0,375
Itajaí	0,125	0,375	0,063	0,125	0,125	0,063	0,063	0,688	0,75	1,125	1,375	6,938	0	0,063	0,375
Ituporanga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,188	0	0	0
José Boiteux	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0,188	0,063	0	0	0
Laurentino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0	0
Lontras	0	0,063	0	0	0	0	0	0	0,063	0,5	0,063	0,313	0	0	0,063
Luiz Alves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0,438	0	0	0
Mirim Doce	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,688	0,438	0,5	0,625	0	0	0,375
Navegantes	0,313	0,313	0,188	0	0,125	0	0,313	0,5	0,5	0,688	0,625	1,625	0	0,063	0,75
Papanduva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0	0
Petrolândia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0	0	0	0
Pomerode	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pouso Redondo	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0,125	0,25	0,438	0,5	0	0	0,25
Presidente Getúlio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,063
Presidente Nereu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Continuação da Tabela 22.

Rio do Campo	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,25	0,125	0,25	0,938	0	0	0
Rio do Oeste	0	0	0	0	0	0	0	0,188	0,563	0,625	0,688	1,063	0	0	0,063
Rio dos Cedros	0	0,188	0,125	0,063	0,063	0	0	0	0,125	0,375	0,438	2,563	0	0	0,125
Rio do Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,313	0,188	0,375	0,188	0	0,563
Rodeio	0	0,063	0	0	0	0	0	0	0,375	0,188	0,563	0,875	0	0	0,063
Salete	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Terezinha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taió	0,063	0,063	0	0,188	1,125	1,063	0,063	0,375	0,313	0,188	0,875	2,25	0	0	0,188
Timbó	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,188	0,375	1,375	0	0	0
Trombudo Central	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0,063	0,188	0	0	0
Vidal Ramos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vitor Meireles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Witmarsum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Continuação da Tabela 22

Transições	C	FP	VN	AG	ANI	A	AR	C	FP	VN	AG	ANI	A	AR	C	FP
Municípios	C	C	C	C	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN
Agrolândia	0,125	0,125	0,25	1,188	0	0	0,063	0,125	1,063	1,375	2,875	0	0	0	0,063	1,25
Agronômica	0,125	0,188	0,375	0,875	0	0	0,063	0	0,438	0,563	1,938	0	0	0	0,188	0
Alfredo Wagner	0,125	0,125	1,438	2,5	0	0	0	0,063	2,875	4,875	3,875	0	0,188	0,25	0,688	4,938
Apiúna	1,125	0,438	0,313	0,563	0	0	0,125	0,75	0,688	4,875	4,438	0,063	0,063	0,313	0,625	2,313
Ascurra	1,438	0,313	0,5	1,625	0	0	0,063	0,75	0,438	1,25	2,563	0	0,125	0,125	0,688	0,875
Atalanta	0	0	0	0,438	0	0	0	0	0	0	1,188	0	0	0	0	0,188
Aurora	0	0,25	0,5	0,375	0	0	0	0,063	0,188	0,938	2,938	0	0	0	0,125	0,063
Benedito Novo	0	0	0,125	0,875	0	0	0	0	0,063	2,438	5,5	0,063	0,125	0,063	0,375	0,375
Blumenau	23,94	5,25	3,563	3,625	0	0,063	0,125	11,5	5,375	7	11,31	0	0,063	0,063	7,125	7,313
Botuverá	0	0	0,25	0,063	0	0	0	0,063	0	1,688	1,313	0	0	0	0,938	0,938
Brusque	1,313	2,438	1,625	5,313	2,813	0,625	0,5	0,75	1,375	4,25	11,81	14,94	3,438	1,813	1,75	3,375
Chapadão do Lajeado	0	0	0,188	0,063	0	0	0	0	0	0,188	0,438	0	0	0	0	0
Dona Emma	0	0	0	0,125	0	0	0	0	0	0,5	1,5	0	0	0	0	0,063
Doutor Pedrinho	0,188	0,563	0,688	2,438	0	0	0	0	0,25	3,375	7,5	0	0	0	0,125	2,5
Gaspar	4,813	3,438	2,938	4,875	0	0,063	0,25	2,375	2,75	4	9,938	0	0	0,125	1,375	4,5
Guabiruba	0	0	0	0,063	2,563	0,125	0,188	0,063	0,063	0,25	0,625	13,44	2,438	1,875	2	2,313
Ibirama	1,125	0,688	0,938	0,688	0	0	0,25	0,688	1,25	2,188	3,25	0	0	0	0,5	1
Ilhota	0,813	0,75	1,375	5,188	0	0	0,063	0,438	0,813	2,813	7,875	0	0	0,125	0,313	0,938

## Continuação da Tabela 22.

Imbuia	0	0	0	0,25	0	0	0	0	1,125	0,25	0,438	0	0	0	0	0,75
Itaiópolis	0	0	0,313	0,313	0	0	0	0	0,125	3,188	3,063	0	0	0	0	1,188
Indaial	3	2	1,063	1,063	0	0	0,313	2,438	1,563	2,938	6,688	0	0	0,125	1,688	2,688
Itajaí	10,94	3,625	2,375	13,5	0	0,125	0,125	0,625	1,25	3,5	14,44	0	0	0,25	0,25	2,125
Ituporanga	1,313	0,25	0,375	1,375	0	0	0	0,125	0	0,438	5,063	0	0	0	0,063	0,125
José Boiteux	0,063	0,375	0,625	1,625	0	0	0	0,063	0,375	2,063	2,688	0	0	0	0,188	1,625
Laurentino	0,063	0,063	0,063	0,313	0	0	0	0	0,125	0,5	1,438	0	0	0	0	0
Lontras	0,688	0,938	0,563	0,875	0	0	0	0,563	1,25	1,813	3	0	0	0	0,25	0,875
Luiz Alves	0	0	0,313	1,313	0	0	0	0,063	0,125	2,875	4,25	0	0	0	0,063	0,563
Mirim Doce	0,813	0,625	1,938	1,938	0	0	0,5	1,063	1,125	4,625	6,375	0	0	0,375	0,813	1,625
Navegantes	1,313	0,75	0,313	4,188	0	0,125	0,5	0,438	0,625	0,875	4,063	0,25	0,188	0,188	0,563	0,688
Papanduva	0	0	0,188	0,313	0	0	0	0	0,25	2,375	1,813	0	0	0	0	0,875
Petrolândia	0,125	0,063	0,75	0,5	0	0	0	0,125	0,125	1,313	2,063	0	0	0	0	0,25
Pomerode	0,75	0,188	0,563	0,188	0	0	0	0,75	0,313	1,438	2,25	0	0	0,063	0,75	1,438
Pouso Redondo	1,063	0,688	0,875	2,375	0	0	0,563	0,688	1,313	3,25	6,438	0	0	0,625	1,125	2,563
Presidente Getúlio	0,063	0,188	0,125	0,438	0	0,125	0,063	0	0,438	0,5	3	0	0	0	0	0,25
Presidente Nereu	0	0	0	0,063	0	0	0	0	0	0,125	0,438	0	0	0	0,188	0,375
Rio do Campo	0,313	0,125	0,625	2,875	0	0	0,125	0,375	0,438	2,625	9,188	0	0	0,125	0,188	0,813
Rio do Oeste	0,25	0,688	0,938	2,688	0	0	0,063	0,313	0,375	2,063	5,875	0	0	0,188	0,313	0,688
Rio dos Cedros	0,438	0,313	1,313	4,938	0	0,063	0,125	0,25	1,938	8,313	7,375	0	0,125	0,25	1	4,25



## Continuação da Tabela 22.

Rio do Sul	4,188	2,438	1,375	1,813	0	0,125	0	0,813	1	2,375	6,188	0	0	0	0,375	0,625
Rodeio	0,625	0,688	1,063	2,813	0	0	0	0,5	0,875	0,875	3,563	0	0	0	0,063	0,563
Salete	0	0,25	0,375	0,188	0	0	0	0,125	0,188	0,938	1,25	0	0	0	0	0,438
Santa Terezinha	0	0	0,063	0,063	0	0	0	0	0	1	0,75	0	0	0	0	1,313
Taió	0,375	1	1,875	4,75	0	0	0,188	0,563	1,375	6,125	12	0	0,063	0,063	0,75	2,125
Timbó	1,875	0,938	1,375	2,875	0	0	0	1,563	1,313	1,25	5	0	0,063	0	0,438	1,75
Trombudo Central	0,063	0,25	0,25	0,688	0	0	0	0	0,063	0,5	3,125	0	0	0	0,063	0,125
Vidal Ramos	0	0	0,125	0,188	0	0	0	0	0,563	0,813	1,188	0	0	0	0	0,813
Vitor Meireles	0	0	0,375	0,875	0	0	0	0	0,188	2,375	1,688	0	0	0	0	0,813
Witmarsum	0	0	0	0,063	0	0	0	0	0	0,063	0,5	0	0	0	0	0

## Continuação da Tabela 22.

Transições	VN	AG	ANI	A	AR	C	FP	VN	AG	Total
Municípios	VN	VN	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	
Imbuia	7,25	12,19	0	0	0	0	0,688	1	60,38	84,3125
Atalanta	7,125	15,13	0	0	0	0	0	1,625	61,13	86,8125
Chapadão do Lajeado	12,38	24,25	0	0	0	0	0,063	2,125	73,19	112,875
Guabiruba	91,38	26,13	12,88	1,438	1,5	0,938	0,75	2,688	16,13	180,375
Laurentino	5	14,38	0	0	0	0	0,125	2,813	43,13	68,0625
Ascurra	63,75	18,5	0	0	0	0,563	1,25	3,563	15,38	115,9375
Timbó	26,06	34,38	0	0	0	0,313	0,688	4	42,44	128,3125
Botuverá	211,6	42,75	0	0	0	1,688	0,938	4,75	30,31	297,25
Agronômica	20,25	24,5	0	0	0	0	0,063	4,875	66,06	122,625
Ibirama	114,3	54,31	0	0	0	0,188	0,5	5	73,06	262,5625
Rodeio	50,56	37,06	0	0	0	0	0,188	5,313	26,88	133,75
Petrolândia	42	53,56	0	0	0	0	0,063	5,688	153,9	260,5625
Lontras	42,31	39,5	0	0	0	0	0,375	5,688	98,75	198,5
Navegantes	14,69	15,94	1,313	0,75	0,5	1,063	1,063	6,375	34,63	97,375
Ituporanga	31,44	71,88	0	0	0	0	0,063	6,875	223,8	343,3125
Pomerode	69,81	57,63	0	0	0	0,813	1,813	7	69,81	215,5625
Aurora	43,63	41	0	0	0	0	0,313	7,188	130,8	228,4375
Presidente Nereu	105,7	42,69	0	0	0	0	0	7,25	68,56	225,375

## Continuação da Tabela 22.

Brusque	109,5	61,88	6,938	0,75	0,5	0,563	0,75	7,563	53,38	302,4375
Trombudo Central	15,75	37,38	0	0	0	0	0,125	9	111,6	179,25
Rio do Sul	67,25	54,38	0	0	0	0,125	0,313	9,438	106,3	260,6875
Witmarsum	23,25	21,13	0	0	0	0	0	9,625	74,88	129,5
Blumenau	213,4	61,94	0	0	0	2,75	2,313	10,13	48,19	430,4375
Indaial	257,4	52,88	0	0	0	0,938	1,375	11,13	65,56	419,8125
Dona Emma	40,81	29	0	0	0	0	0,063	11,31	94,69	178,0625
Vidal Ramos	114,3	84,94	0	0	0	0,063	0	11,81	159,3	374,0625
Ilhota	85,69	45,56	0	0	0	0,25	0,938	13,06	82	260,75
Agrolândia	42,06	43	0	0	0,063	0,125	1	13,13	85,25	194,3125
Itajaí	57,88	43,13	0	0	0,125	0,313	0,813	13,19	89,63	270,4375
Apiúna	274,8	96,38	0,063	0	0,188	1,063	1,375	13,69	80,25	487,5625
Salete	31	35,06	0	0	0	0	0,063	14,38	82,75	167
Luiz Alves	104,9	63	0	0	0,125	0,063	0,25	16,13	59,75	254,3125
José Boiteux	269,2	49,56	0	0	0	0,063	1,063	17,13	50,25	397,25
Benedito Novo	166,8	73,06	0	0	0	0,313	0,25	17,25	117,6	385,4375
Rio do Oeste	36,56	46,75	0	0	0	0,188	1,625	17,5	124,2	244,4375
Gaspar	153,6	62,44	0	0	0,063	0,188	1,375	17,5	79,5	368,5
Alfredo Wagner	164,3	173,3	0	0	0	0,063	3,188	18,88	346,2	727,8125
Presidente Getúlio	56,25	47,31	0	0	0	0	0,063	19,56	160,6	289,0625

---

 Continuação da Tabela 22.

Mirim Doce	219,6	50	0	0	0,125	0,438	2	19,56	55,31	371,9375
Doutor Pedrinho	237,8	49,81	0	0	0	0	1,063	24,5	41,13	373,9375
Pouso Redondo	68,13	78,63	0	0	0,813	1,563	3,688	25,75	158,6	360,4375
Rio do Campo	205,6	82,94	0	0	0	0,313	1,063	30,94	150,6	490,9375
Vitor Meireles	182,1	70,88	0	0	0	0	0,125	31,44	98,56	389,375
Itaiópolis	280,9	112,8	0	0	0	0	0,25	34,44	63	499,5625
Rio dos Cedros	293,4	85,69	0	0,125	0,063	0,125	1,938	35,56	105	556,6875
Papanduva	164,3	124,6	0	0	0	0	0,125	46	131,8	472,625
Taió	257,9	127,4	0	0	0,125	0,438	1,5	53,56	254,9	733,875
Santa Terezinha	340,1	108,9	0	0	0	0	0,563	76,44	165,9	695,0625

## Informações sobre a qualidade da interpretação automática das imagens de satélite

Tabela 23 – Separabilidade “Divergência Transformada” das classes de uso da terra para imagem Landsat de 1986.

Primeira imagem – órbita 220 pontos 78 e 79	Arrozeiras - aguas and Floresta natural - 1.99625737
Input File: 220rec_1986_123457_pc1.img	Cidades and Arroz - solo exposto - 1.99721754
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)	Floresta plantada - eucalipto and Floresta plantada - pinus novo - 1.99786205
Pair Separation (least to most):	Floresta plantada - pinus and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99881070
Cidades and Agropecuaria - solo exposto - 1.06207809	Arrozeiras - aguas and Arroz - solo exposto - 1.99881458
Floresta natural and Floresta natural - sombras - 1.26925975	Arrozeiras - aguas and Cidades - 1.99886380
Floresta plantada - eucalipto and Agropecuaria - ciclo longo - 1.57371685	Floresta natural and Agropecuaria - solo exposto - 1.99926941
Floresta plantada - pinus and Floresta plantada - eucalipto - 1.73648674	Arrozeiras - aguas and Floresta plantada - eucalipto - 1.99943515
Floresta natural and Agricultura - 1.79065543	Cidades and Outras classes - sombras - 1.99952391
Floresta plantada - pinus and Floresta natural - sombras - 1.83234391	Aguas and Agricultura - 1.99973488
Floresta natural and Agropecuaria - ciclo longo - 1.84232494	Cidades and Floresta natural - 1.99985077
Floresta plantada - eucalipto and Floresta natural - sombras - 1.84986887	Outras classes - sombras and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99989752
Agricultura and Agropecuaria - ciclo longo - 1.85132142	Floresta natural - sombras and Agropecuaria - solo exposto - 1.99990323
Outras classes - sombras and Floresta natural - sombras - 1.89410405	Floresta plantada - pinus and Agropecuaria - solo exposto - 1.99992287
Agricultura and Agropecuaria - solo exposto - 1.89628164	Agricultura and Arroz - solo exposto - 1.99992740
Floresta natural and Outras classes - sombras - 1.90748368	Aguas and Floresta natural - 1.99993592
Agricultura and Floresta plantada - pinus novo - 1.92868291	Arrozeiras - aguas and Floresta plantada - pinus - 1.99994068
Floresta natural and Floresta plantada - eucalipto - 1.93134112	Aguas and Floresta plantada - eucalipto - 1.99995500
Cidades and Agricultura - 1.93879475	Cidades and Floresta natural - sombras - 1.99997167
Arrozeiras - aguas and Outras classes - sombras - 1.94018458	Floresta plantada - eucalipto and Agropecuaria - solo exposto - 1.99999088
Outras classes - sombras and Agricultura - 1.94551543	Aguas and Floresta natural - sombras - 1.99999415
Aguas and Arrozeiras - aguas - 1.95555555	Cidades and Floresta plantada - pinus - 1.99999502
Agricultura and Floresta natural - sombras - 1.95625929	Agropecuaria - ciclo longo and Agropecuaria - solo exposto - 1.99999796
Floresta natural - sombras and Agropecuaria - ciclo longo - 1.96089553	Cidades and Floresta plantada - eucalipto - 1.99999817
Floresta plantada - pinus and Agricultura - 1.96862581	Cidades and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99999893
Agricultura and Floresta plantada - eucalipto - 1.97041007	Floresta natural - sombras and Floresta plantada - pinus novo - 1.99999915
Floresta plantada - pinus and Floresta natural - 1.97795051	Cidades and Outras classes - nuvens - 1.99999958
Agropecuaria - solo exposto and Arroz - solo exposto - 1.98172027	Outras classes - nuvens and Agropecuaria - solo exposto - 1.99999983
Floresta natural and Floresta plantada - pinus novo - 1.98374893	Arrozeiras - aguas and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99999992
Aguas and Outras classes - sombras - 1.98419816	Outras classes - sombras and Arroz - solo exposto - 1.99999994
Floresta plantada - pinus and Outras classes - sombras - 1.98612217	Aguas and Cidades - 1.99999994
Agropecuaria - ciclo longo and Floresta plantada - pinus novo - 1.98799622	Aguas and Agropecuaria - solo exposto - 1.99999997
Arrozeiras - aguas and Agropecuaria - solo exposto - 1.99062301	Floresta natural and Arroz - solo exposto - 1.99999999
Outras classes - sombras and Floresta plantada - eucalipto - 1.99145960	Outras classes - sombras and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000
Outras classes - sombras and Agropecuaria - solo exposto - 1.99293864	Outras classes - nuvens and Agricultura - 2.00000000
Arrozeiras - aguas and Agricultura - 1.99342256	Agropecuaria - ciclo longo and Arroz - solo exposto - 2.00000000
Arrozeiras - aguas and Floresta natural - sombras - 1.99490724	Outras classes - nuvens and Arroz - solo exposto - 2.00000000

Arrozais - aguas and Outras classes - nuvens - 2.00000000  
 Agropecuaria - solo exposto and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000  
 Cidades and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000  
 Outras classes - sombras and Outras classes - nuvens - 2.00000000  
 Floresta natural and Outras classes - nuvens - 2.00000000  
 Aguas and Outras classes - nuvens - 2.00000000  
 Floresta plantada - eucalipto and Arroz - solo exposto - 2.00000000  
 Outras classes - nuvens and Floresta natural - sombras - 2.00000000  
 Aguas and Floresta plantada - pinus - 2.00000000  
 Floresta plantada - pinus novo and Arroz - solo exposto - 2.00000000  
 Outras classes - nuvens and Floresta plantada - eucalipto - 2.00000000  
 Arrozais - aguas and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000  
 Outras classes - nuvens and Agropecuaria - ciclo longo - 2.00000000  
 Floresta plantada - pinus and Outras classes - nuvens - 2.00000000  
 Floresta natural - sombras and Arroz - solo exposto - 2.00000000  
 Floresta plantada - pinus and Arroz - solo exposto - 2.00000000  
 Aguas and Arroz - solo exposto - 2.00000000  
 Floresta plantada - pinus and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000  
 Aguas and Agropecuaria - ciclo longo - 2.00000000  
 Aguas and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000  
 Outras classes - nuvens and Floresta plantada - pinus novo - 2.00000000

Segunda imagem – órbita 221, pontos 78 e 79

Input File: 221rec\_1986\_123457\_pc12.img

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Pair Separation (least to most):

Vegetacao natural and Vegetacao natural - sombras - 1.34864552  
 Outras - sombras and Vegetacao natural - sombras - 1.63933771  
 Cidades and Agropecuaria - solo descoberto - 1.87476404  
 Agropecuaria and Agropecuaria - ciclo longo - 1.89373903  
 Cidades and Agropecuaria - 1.93745511  
 Arrozais - aguas and Cidades - 1.95125472  
 Vegetacao natural and Outras - sombras - 1.95493993  
 Arrozais - aguas and Agropecuaria - solo descoberto - 1.96535369  
 Florestas plantadas - pinus and Outras - sombras - 1.96886629  
 Florestas plantadas - pinus and Vegetacao natural - sombras - 1.98423640  
 Arrozais - aguas and Agropecuaria - 1.98645008  
 Agropecuaria and Agropecuaria - solo descoberto - 1.98939315  
 Cidades and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99173747  
 Agropecuaria - ciclo longo and Agropecuaria - solo descoberto - 1.99526399  
 Vegetacao natural and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99712605  
 Cidades and Outras - sombras - 1.99849491  
 Arrozais - aguas and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99855749  
 Cidades and Vegetacao natural - sombras - 1.99873840  
 Agropecuaria and Vegetacao natural - sombras - 1.99880491  
 Vegetacao natural and Agropecuaria - 1.99897831  
 Cidades and Vegetacao natural - 1.99923609  
 Outras - sombras and Agropecuaria - 1.99924089

Arrozais - aguas and Vegetacao natural - sombras - 1.99930238  
 Arrozais - aguas and Outras - sombras - 1.99945931  
 Arrozais - aguas and Vegetacao natural - 1.99960730  
 Florestas plantadas - pinus and Vegetacao natural - 1.99963372  
 Cidades and Arrozais - arroz - 1.99970243  
 Vegetacao natural - sombras and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99977260  
 Aguas and Cidades - 1.99990229  
 Agropecuaria - solo descoberto and Arrozais - arroz - 1.99993145  
 Outras - sombras and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99995220  
 Cidades and Florestas plantadas - pinus - 1.99995346  
 Aguas and Arrozais - aguas - 1.99995912  
 Agropecuaria - ciclo longo and Arrozais - arroz - 1.99996587  
 Arrozais - aguas and Arrozais - arroz - 1.99997365  
 Arrozais - aguas and Florestas plantadas - pinus - 1.99998215  
 Florestas plantadas - pinus and Agropecuaria - 1.99998241  
 Agropecuaria and Arrozais - arroz - 1.99999478  
 Aguas and Outras - sombras - 1.99999744  
 Outras - sombras and Agropecuaria - solo descoberto - 1.99999786  
 Vegetacao natural - sombras and Agropecuaria - solo descoberto - 1.99999866  
 Vegetacao natural and Arrozais - arroz - 1.99999871  
 Vegetacao natural and Agropecuaria - solo descoberto - 1.99999946  
 Aguas and Agropecuaria - solo descoberto - 1.99999984  
 Vegetacao natural - sombras and Arrozais - arroz - 1.99999995  
 Florestas plantadas - pinus and Agropecuaria - ciclo longo - 1.99999998  
 Aguas and Vegetacao natural - sombras - 1.99999999  
 Aguas and Agropecuaria - 2.00000000  
 Outras - sombras and Arrozais - arroz - 2.00000000  
 Florestas plantadas - pinus and Arrozais - arroz - 2.00000000  
 Florestas plantadas - pinus and Agropecuaria - solo descoberto - 2.00000000  
 Aguas and Vegetacao natural - 2.00000000  
 Aguas and Arrozais - arroz - 2.00000000  
 Aguas and Agropecuaria - ciclo longo - 2.00000000  
 Aguas and Florestas plantadas - pinus - 2.00000000

Tabela 24 – Matrizes de confusão entre classes de interpretação.

Matriz de Confusão para imagem 220/79 e 220/79

Confusion Matrix: D:\sig\_bacia\imagens\_sat\_inteiras\220\220rec\_1986\_123457\_pc1\_class.img

Overall Accuracy = (7266/9251) 78.5429%

Kappa Coefficient = 0.7597

Ground Truth (Percent)					
Class	Aguas	Arrozeiras -	Cidades	Floresta plan	Floresta natu
Unclassified	0.00	0.00	16.13	3.24	0.74
Aguas	98.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Arrozeiras -	0.94	99.60	0.00	0.00	0.00
Cidades	0.00	0.40	68.39	0.00	0.00
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	92.91	0.00
Floresta natu	0.00	0.00	0.00	0.00	49.16
Outras classe	0.19	0.00	0.00	0.00	2.07
Outras classe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agricultura	0.00	0.00	0.26	0.00	1.25
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	2.77	0.31
Floresta natu	0.00	0.00	0.00	1.08	42.76
Agropecuaria	0.00	0.00	0.00	0.00	3.71
Agropecuaria	0.00	0.00	15.23	0.00	0.00
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroz - solo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)					
Class	Outras classe	Outras classe	Agricultura	Floresta plan	Floresta natu
Unclassified	0.00	0.00	2.50	1.97	0.98
Aguas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arrozeiras -	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Cidades	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
Floresta natu	0.00	0.00	1.25	0.66	5.37
Outras classe	97.17	0.00	0.25	0.00	0.00
Outras classe	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Agricultura	0.40	0.00	91.86	0.00	0.00
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	91.48	0.00
Floresta natu	2.02	0.00	0.00	1.31	92.93
Agropecuaria	0.00	0.00	0.13	4.59	0.00
Agropecuaria	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
Floresta plan	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
Arroz - solo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)					
Class	Agropecuaria	Agropecuaria	Floresta plan	Arroz - solo	Total
Unclassified	0.00	9.99	0.58	0.00	3.51
Aguas	0.00	0.00	0.00	0.00	5.66
Arrozeiras -	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76
Cidades	0.00	5.68	0.00	0.00	6.41
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	0.00	6.55
Floresta natu	1.37	0.00	0.00	0.00	14.10
Outras classe	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22
Outras classe	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75
Agricultura	2.74	1.28	1.16	0.00	16.44
Floresta plan	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30
Floresta natu	0.00	0.00	0.00	0.00	16.13
Agropecuaria	95.89	0.00	0.58	0.00	1.97
Agropecuaria	0.00	83.04	0.00	0.66	11.51
Floresta plan	0.00	0.00	97.67	0.00	2.08
Arroz - solo	0.00	0.00	0.00	99.34	1.62
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Matriz de confusão para imagem 221/78 e 221/79

Confusion Matrix: C:\Documents and Settings\All Users\Documentos\nova\_1986\221rec\_1986\_123457\_class.img

Overall Accuracy = (1976/2017) 97.9673%

Kappa Coefficient = 0.9769

Ground Truth (Percent)					
Class	Aguas	Arrozeiras -	Cidades	Florestas pla	Vegetacao nat
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aguas	98.63	0.00	0.00	0.00	0.00
Arrozeiras -	0.68	98.47	0.00	0.00	0.00
Cidades	0.68	0.00	94.61	0.00	0.00
Florestas pla	0.00	0.00	0.00	99.16	0.00
Vegetacao nat	0.00	0.00	0.00	0.00	96.20
Outras - somb	0.00	0.00	0.00	0.42	0.38
Agropecuaria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
Vegetacao nat	0.00	0.00	0.00	0.42	3.04
Agropecuaria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agropecuaria	0.00	1.53	5.39	0.00	0.00
Arrozeiras -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)					
Class	Outras - symb	Agropecuaria	Vegetacao nat	Agropecuaria	Agropecuaria
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aguas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arrozeiras -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cidades	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
Florestas pla	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetacao nat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Outras - symb	92.91	0.00	3.13	0.00	0.00
Agropecuaria	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Vegetacao nat	6.30	0.00	96.88	0.00	0.00
Agropecuaria	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Agropecuaria	0.00	0.00	0.00	0.00	99.77
Arrozeiras -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)		
Class	Arrozeiras -	Total
Unclassified	0.00	0.00
Aguas	0.00	7.14
Arrozeiras -	0.00	12.84
Cidades	0.00	9.67
Florestas pla	0.00	11.70
Vegetacao nat	0.00	12.54
Outras - symb	0.00	6.05
Agropecuaria	0.00	5.55
Vegetacao nat	0.00	3.92
Agropecuaria	0.00	5.60
Agropecuaria	0.00	22.21
Arrozeiras -	100.00	2.78
Total	100.00	100.00